

Les Opportunités du Solaire Thermique dans les secteurs Industriel & Tertiaire en Tunisie

Phase II

Tunis, 14 Mai 2015

Jan Knaack
German Solar Industry
Association



Programme – Phase II

2



14. Mai 2015

- Présentation / Rappel des résultats finaux de la phase II
 - Nouveaux résultats
 - Recommandations politiques

14./15. Mai 2015

- Session de formation des formateurs dans le domaine des grandes installations ST dans les secteurs industriel et tertiaire

15. Mai 2015

- Formation des formateurs sur les techniques de simulation et d'analyse économique relatives aux grandes installations ST

Les Opportunités du Solaire Thermique dans les secteurs Industriel & Tertiaire en Tunisie

Principaux Résultats de la Phase I

Septembre 2014 – Mars 2015



Appuyé par



الوكالة الوطنية للتحكم في الطاقة
Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie
National Agency for Energy Conservation

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

German Solar Industry Association (BSW-Solar)

Groupement de l'Etude / Expertise

4



ISO 9001 – 2000

Jan Knaack
Jörg Mayer

Eng. Abdelhak Khémiri

Eng. Detlev Seidler

Bernhard Gatzka

Expert Technique



Agenda

5

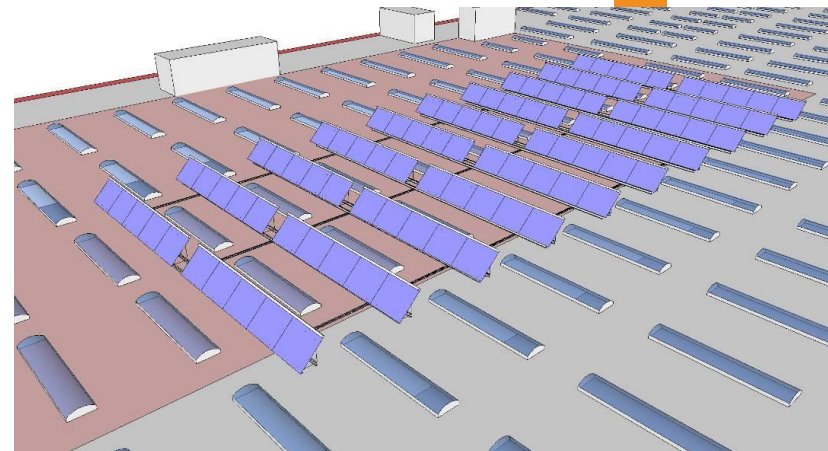
1. Objectifs de l'Etude Approche Méthodologie – Modèles retenus
2. Hypothèses Techniques & Economiques
3. Cas d'études retenus et résultats des simulations technico-économiques pour
 1. Le secteur tertiaire
 2. Le secteur industriel
4. Recommandations



Source: Ritter Solar

Buts de l'étude

- Identifier les opportunités économiques des installations ST de grande taille dans les secteurs industriel et tertiaire en Tunisie
- Définir les scénarios les plus favorables pour divers segments des marchés
- Formuler des recommandations pour améliorer les conditions cadres
 - Au niveau réglementaire
 - Au niveau du cadre incitatif
 - Au niveau de l'Organisationnel



Critère de selection des secteurs / cas représentatifs

7

Critères de Sélection

- Représentativité du cas d'étude (Nombre de cas similaires en Tunisie)
- Qualité et disponibilité d'informations et de données sur la demande en chaleur et sur le profil de la température.
- S'assurer que le niveau de Température est couvert par les technologies existantes (basses températures $<180^{\circ}\text{C}$).

Segments éliminés (en concertation avec les acteurs)

- Résidences Collectives Verticales (gestion de l'installation))
- Centre Commercial (Faible Consommation ECS)
- Immeubles de Bureaux (Faible Consommation ECS)
- Résidences individuelles (Faible Consommation par m^2)
- Industries Pharmaceutiques (remplacées par les briqueteries dans un premier temps)
- Climatisation solaire (Coût élevé et Technologie compliquée)
- Sites désertiques (Faible représentativité)



Source: Ritter Solar

Cadre de l'Etude: **Identification & évaluation des informations les plus pertinentes**

8

Les différentes technologies ST: Etablir des recommandations pour les grandes installations basées sur les technologies suivantes:

- Capteur Plan (*)
- Tube sous vide (*)
- Systèmes à concentration

Les sites les plus appropriés pouvant recevoir des installations de grande taille (Centrales Solaires Thermiques) et surtout qui répondent le mieux aux besoins des secteurs industriel et tertiaire:

- Site pour le secteur tertiaire (p.e. Jerba, Tunis)
- Sites à proximité des grandes zones industrielles (p.e.. Sfax, Tunis)

* Considération seulement des systèmes de pompage



Source: Industrial Solar

Cadre de l'Etude: Définition et évaluation des paramètres économiques

9



Estimations des coûts des équipements fabriqués localement ou importés

- Capteurs
- Systèmes de Stockage / Réservoirs
- Autres couts (Echangeurs, Tuyauterie, Système de régulation...)

Le cadre national pour la promotion de l'utilisation des l'Energie Solaire

- Cadre règlementaire
- Système Incitatif pour les projets ST
- Prix des énergies fossiles et leurs taux de subvention
- Taux d'inflation
- Les attentes des investisseurs (Taux de Rentabilité Interne, Période de Remboursement...)

Cadre de l'Etude: Analyse & Simulation

10



- Analyse technique (Dimensionnement des différents composants) et calculs des principaux paramètres de performance de l'installation:
 - Rendement Solaire
 - Fraction Solaire
 - ...
- Analyse et détermination de la configuration optimale de l'installation ST.
- Analyse de la Rentabilité & de la Sensibilité par rapport aux principaux paramètres.

- **Bibliographie**
 - Les Etudes déjà réalisées
 - Les audits énergétiques

- **Vérification de la fiabilité des données**
 - ANME
 - Consultants et auditeurs locaux
 - Entreprises du secteur industriel
 - Entreprises du secteur tertiaire

Identification des segments des marchés et des applications

12

Secteur Tertiaire

- Hôtels
- Hôpitaux & Cliniques privées
- Piscines Couvertes
- Immeubles locatifs gérés par une partie publique (Office des Logements Militaires, Parc CNRPS...)

Industrie

- Agroalimentaire -Industriel (Lait et dérivés)
- Textile
- Briqueteries



Source: Fraunhofer ISE



Source: Solvis

2. Hypothèses Techniques & Economiques

Abdelhak Khémiri
CAMI



Description Technique: Capteurs Plans

15

- Les capteurs plans sont les capteurs les plus utilisés en Europe (90%)
- En Tunisie, Il existe une industrie locale produisant des capteurs plans (généralement de 2 m²)
- Les capteurs de plus grandes surfaces peuvent être importés (Surface unitaire allant jusqu'à 14 m²)



Source: Wagner & Co.



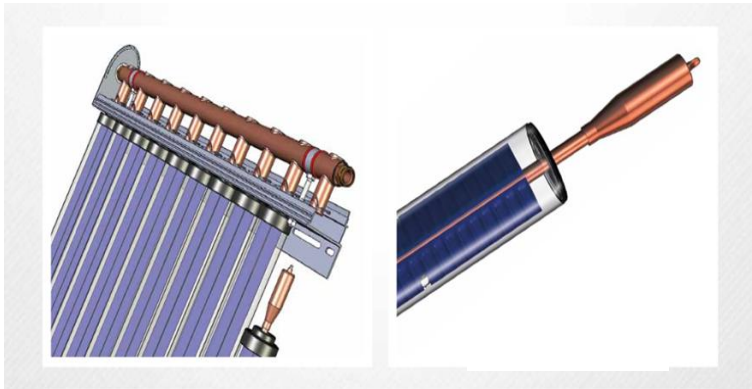
- Les capteurs plans présentent de bonnes performances surtout quand les plages de température (Température Ambiante -Température de l'Eau chaude sanitaire) sont assez modérées (20 à 50K)

e.g.: eau produit a 50°C quand la température extérieure a 30°C

Description Technique: Capteurs à Tube Sous-Vide

16

- Il existe plusieurs types de capteurs sous vide :
 - Avec ou sans miroir
 - À circulation direct ou a caloduc



Source: Ritter



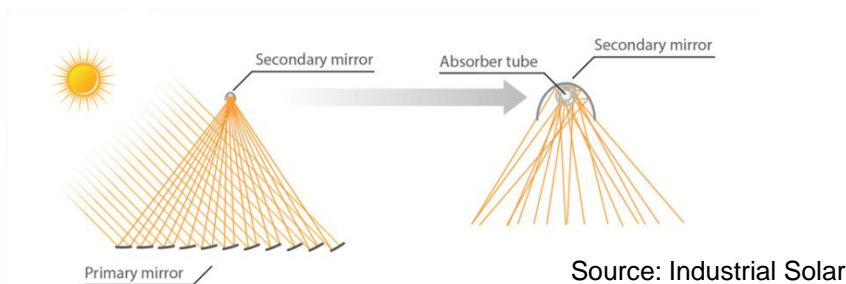
Source: Ritter

- Très bonnes performances quand le delta T de température est supérieur à 100K
- Pour l'Etude en cours, nous avons considéré le type de capteurs sous-vide le plus utilisé dans les applications industrielles en Europe: Le capteur à tube sous-vide CPC :
 - C'est l'équivalent des concentrateurs solaires paraboliques
 - Le miroir reflète les rayons mais ne les concentre pas.
 - 90 à 92 % de la surface utile du capteur

Description Technique: Miroirs de Fresnel

17

- Pour des températures supérieures à 120°C, le passage à d'autres types de capteurs à concentration est nécessaire : Les capteurs cylindro-paraboliques ou les Capteurs à miroir de Fresnel
- Capteurs à miroir de Fresnel (LFC, importé)
C'est une technologie relativement jeune mais mature, utilisée essentiellement pour la production de l'eau chaude et/ou de la vapeur.
- Surface minimale: 500 m²
 - Effet d'Echelle: à partir de 2.500 m² ++



Source: Solarlite CSP

Description Technique: Rendement d'un Capteur

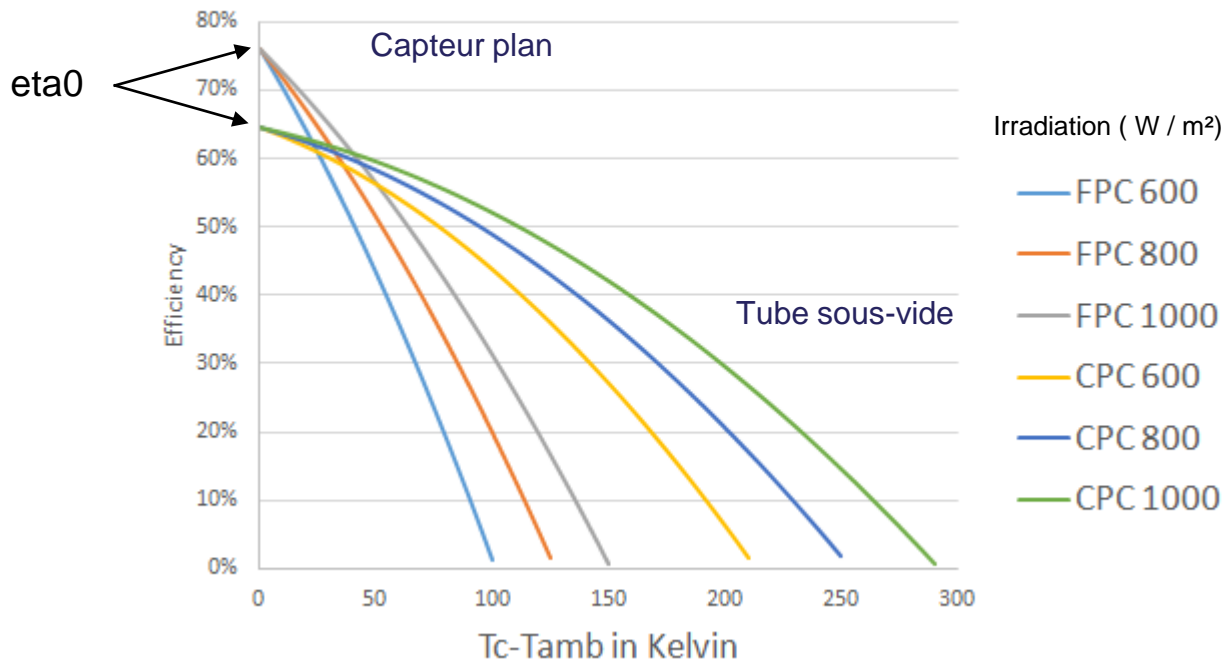
18

Le rendement d'un capteur solaire est définie à partir de trois paramètres :

η_0 Efficience optique

a_1, a_2 Paramètres de l'équation mathématique de second degré

Flat plate <> Vacuum tubes



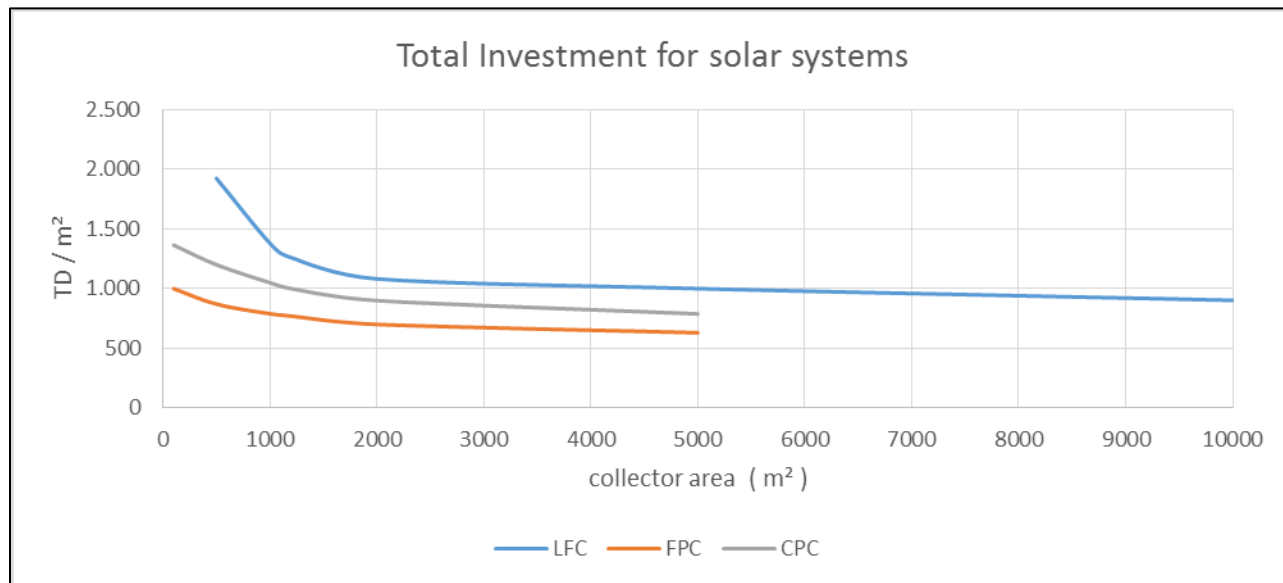
Source: ITW

Description Technique:

Hypothèses sur les prix des systèmes

19

- Le prix par m² dépend de la surface de l'installation: Le cout de la conception, des principaux équipements (Capteurs, Réservoirs de Stockage, supports, tuyauterie...)
- Les installations considérées sont à capteurs plans et capteurs souvide sont comprises entre 100 et 5000 m²
- Une surface minimale de 500m² pour les systèmes à concentration
- Les prix comprennent une taxe d'importation de 10%
- Effet d'Echelle: 1.000 m² ++ FPC CPC/ 2.500 m² ++LFC



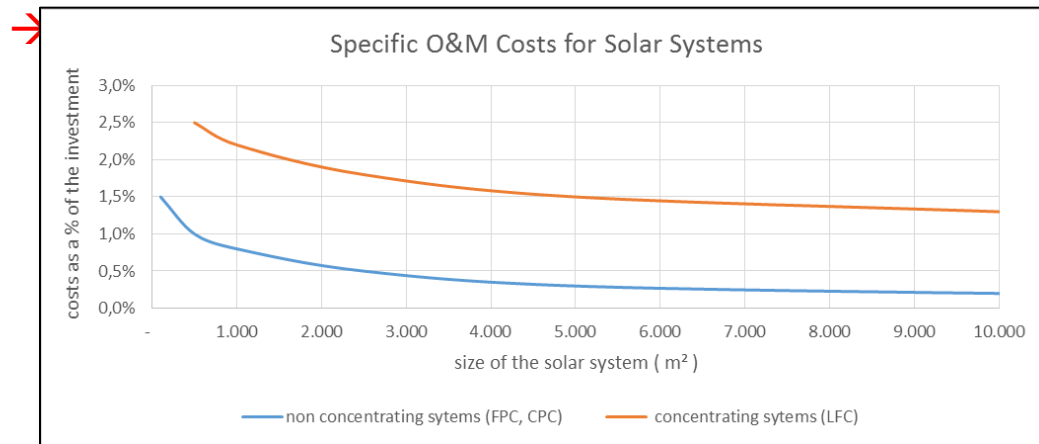
Description Technique: Estimation des prix des systèmes

Technologie	Champ de Capteurs / m ²	Prix spécifique/ (DT/m ²)
Capteur Plan (Taxe à l'importation ≥ 1000 m ²)	100	1000
	1000	840
	5000	630
Capteur Tube Sous-Vide (Taxe à l'importation)	100	1365
	1000	1050
	5000	787,5
Miroirs de Fresnel (Linéaire) (incl. Import Taxe)	500	1924
	2000	1082
	10000	902

Coûts de l'Exploitation et de la Maintenance – E&M

21

- Les coûts exploitation « O&M » sont de l'ordre de 1% de l'investissement par an - Pour les systèmes à Capteur plan & Tube Sous-Vide
→ Cette valeur est prise en compte par l'outil d'analyse Excel
- Les systèmes à concentration (Miroir de Fresnel) nécessitent plus d'efforts pour l'exploitation et le nettoyage (approx. 2 % du coût de l'investissement par an)
- Les coûts spécifiques des systèmes de plus grande taille est plus bas.



Description Technique

Les Réservoirs

Les systèmes de stockage de la chaleur considérés dans l'Etude sont :

- Réservoirs d'eau sanitaire (Avec revêtement)
- Les réservoirs industriels (jusqu'à 100°C) importés
- Les réservoirs sous-pression (jusqu'à 160°C)

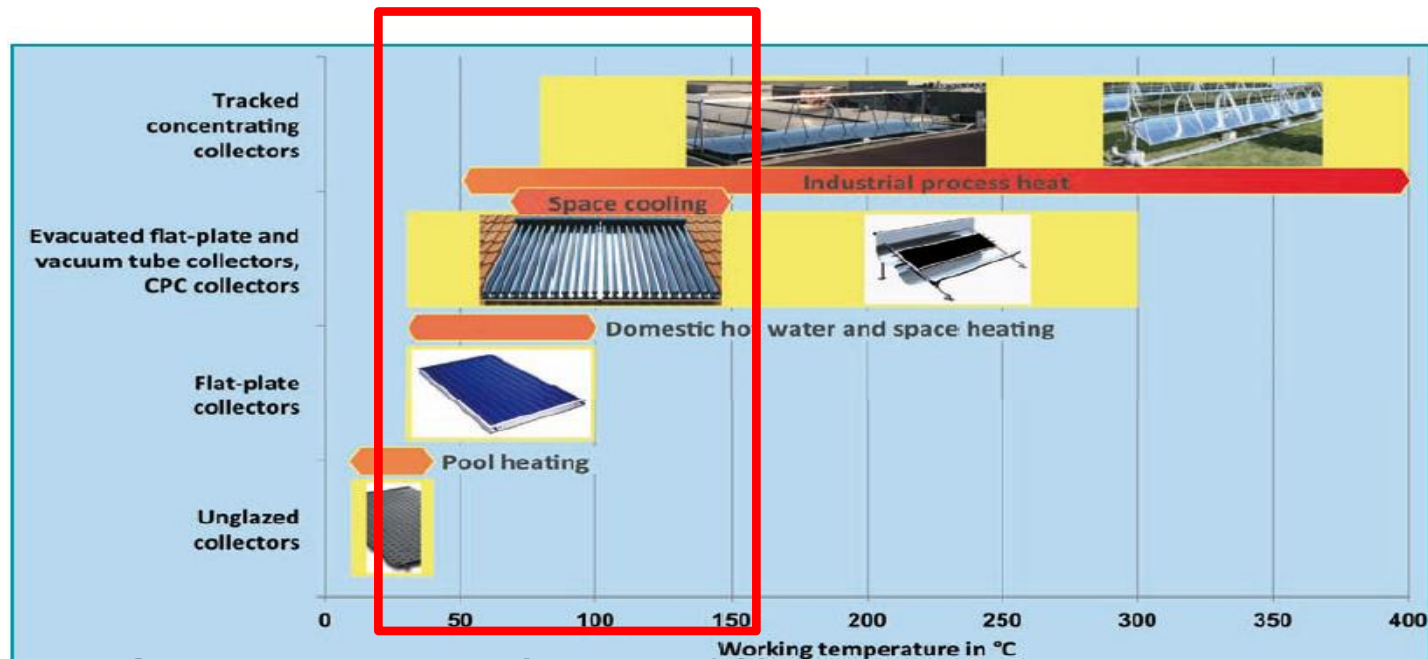
Technologie	Capacité 1 5 m ³	Unité
Réservoir industriel	1,48	TD/litre
Réservoir de petite taille avec revêtement sanitaire	2,81	TD/litre
Réservoir sous-pression	2,81	TD/litre

Source: Cami et estimations

(incl. 10 % Taxe d' Importation > systèmes industriels)

Niveaux de températures considérés

23



Source: RHC - Platform

- **Secteur Tertiaire (20 – 80 °C)**
 - Chauffage de piscine
 - Eau chaude sanitaire
 - Chauffage de locaux
- **Secteur industriel (25 – 180 °C)**
 - Préchauffage, Lavage, Nettoyage, Humidification, Production de vapeur,

Hypothèses Financières

24

Hypothèse		Unité	Source
Taux d'inflation	4,30	%	Estimation FMI (2015 – 2020)
Rentabilité des Capitaux Propres (ROE) dans le secteur tertiaire	6,00	%	GIZ
Rentabilité des Capitaux Propres (ROE) dans le secteur industriel	8,00	%	GIZ
La subvention spécifique / Secteur Tertiaire	300,00	TD/m ²	PROSOL Tert. – Toutes subventions comprises
La subvention spécifique / Secteur Industriel	150,00	TD/m ²	PROSOL Ind.

Hypothèses économiques

Coûts des combustibles

25

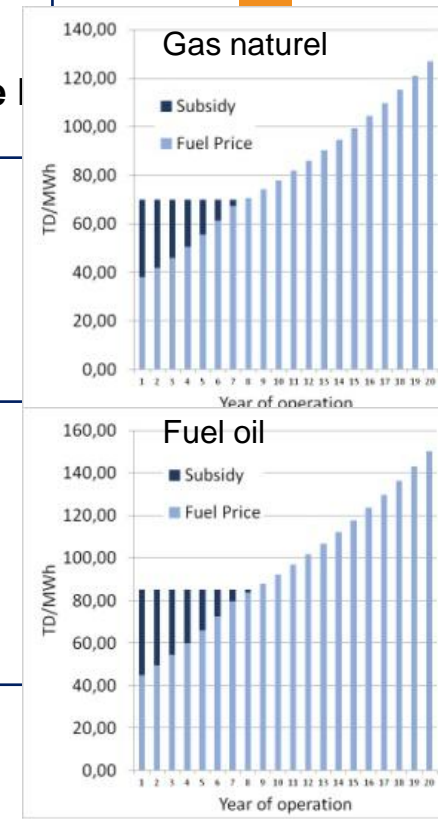
Combustible	Prix Net	Unité	Prix TTC TD/kWh	Prix international TD/kWh	Taux de subvention % (Nov. 2014)	Source
Gaz Naturel	0,37	TD/m ³	0,0380	0,070	47 %	STEG / prix des différentes catégories
LPG	1,11	TD/liter	0,0860			Ministère de l'industrie et de la technologie (2014)
Fioul Lourd	0,51	TD/liter	0,0450	0,085	46 %	Ministère de l'industrie et de la technologie (2014)
Electricité utilisée pour le pompage						
Basse tension	0,295	TD/kWh	0,348			STEG (Mai 2014)
Moyenne Tension	0,167	TD/kWh	0,197			STEG (Mai 2014)

Evolution des coûts de l'énergie:

Hypothèses de base

26

Hypothèse pour différents case			Unité	Source
Taux annuel d'augmentation du prix de l'énergie	De la 1ère à la 6ème Année	De la 7ème à la 20ème Année		GIZ/ Base: programme de réajustement tarifaire de l'énergie qui prévoit la levée de subvention en 6 ans.
Augmentation du prix du gaz naturel	10	5%		GIZ
Augmentation du prix de combustibles autres que le gaz naturel	10	5%		GIZ
Augmentation du prix de l'électricité	10	5%		GIZ



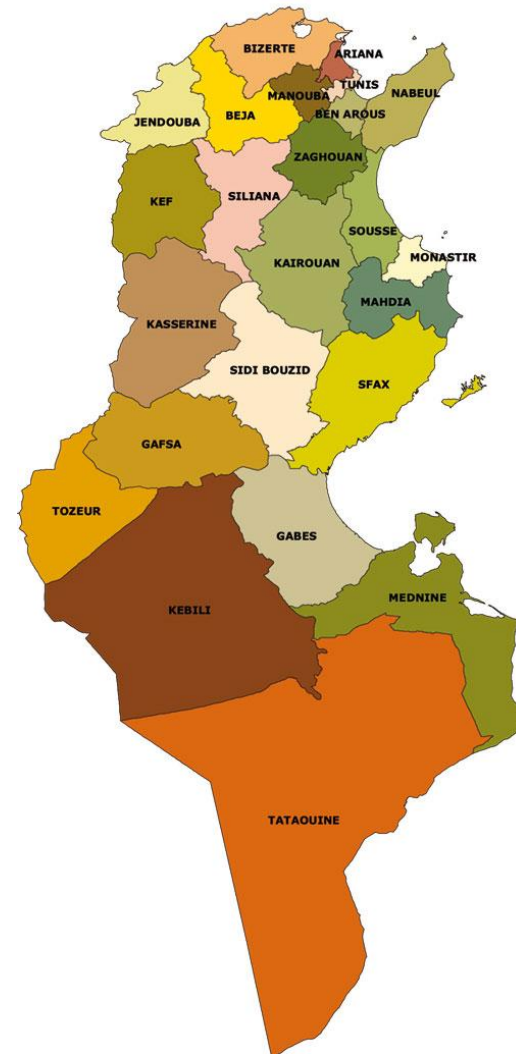
Choix des sites pour les simulations

27

- Cas de Base: Tunis (Population, Unités industrielles, Unités Hotelières et Hospitatlières...)

Alternatives:

- Pour le secteur tertiaire: Jerba (irradiation plus importante, activité touristique importante)
- Pour le secteur industriel: Sfax (irradiation plus importante, activité industrielle importante)



3. Méthodologie de simulation & Calculs

Eng. Ali Ben Hmid



Définition du système

32

- Choix de la localisation:
 - Tunis
 - Djerba
 - Sfax
 - Kairouan
- Choix des composantes
 - Type du réservoir et volume
 - Type du capteur
 - Capteur plan
 - Capteur à tubes sous vides
 - Capteur Fresnel
- Identification de la demande
 - Chauffage de l'eau sanitaire, chauffage des locaux
 - Piscines
 - Chauffage des procédés, Génération de vapeur



Source: Valentin

Ex: Chauffage de l'eau sanitaire

Définition de la demande : Chauffage de l'eau sanitaire - CES

33

Hot water consumption

Parameters Circulation Operating times

☒ DHW recirculation loop used

Consumption

Temperature

Consumption

Detached

Date: 2.12.

Definition of operating times

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

In op

Mon

Hospital

Parameters

Description: Hospital

Time profile

☐ Monday ☐ Thursday ☐ Sunday
☐ Tuesday ☐ Friday ☐ Throughout week
☐ Wednesday ☐ Saturday ☒ Over year

100 x

100%
75
50
25
0

Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

Jan	100,00
Feb	100,00
Mar	90,91
Apr	90,91
May	81,82
Jun	81,82
Jul	72,73
Aug	81,82
Sep	81,82
Oct	90,91
Nov	100,00
Dec	100,00

Standardize

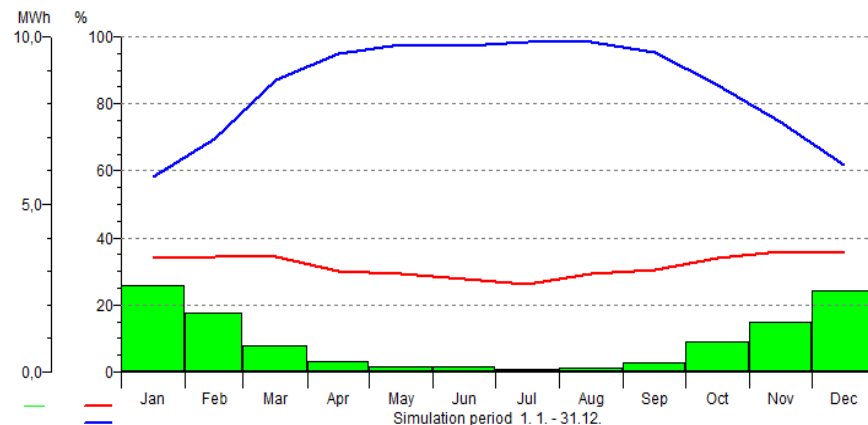
Paste
Copy
Select...
Save
OK
Cancel

Source: Valentin

Résultats principaux de la simulation

34

- Efficacité solaire;
(% d'utilisation de l'irradiation solaire)
- Fraction solaire;
(% de couverture du solaire de demande de chaleur)
- Chauffage d'appoint;
 - Délivré par chaudière
 - Permet de définir le rendement solaire
 - Le rendement solaire annuel est déterminant dans l'analyse économique



Source: Valentin

Conditions économiques

35

Subject	Value	Unit	Comments
Number of collector size variations	10	-	1 <= count <=10
Number of buffer size variations	9	-	1 <= count <=10
Specific Collector Area	1	m ²	
Free Tank Volume	10000	l	e.g. existing tanks as solar buffer
Fix Costs	0	TD	e.g. additional investments for tanks
Specific Tank Costs	2810	TD/m ³	
Subsidy rate	300	TD/m ²	
Operation & Maintenance Costs in % of Invest	1%		
Specific Pump Demand	3	kWh/m ²	given
Boiler Efficiency	88%		
CollectorType	FPC		FPC/CPC/LFC
Period under Consideration (=life span)	20,0	years	
Interest on Capital Factor	106%		100%+interest on capital
Energy Costs:			
Electricity	107	TD/MWh	MWh = 1000 kWh

Conditions économiques limites

36

	Energy Costs: year 1-6	110%		incr. rate factor
	Energy Costs: year >=7	105%		
	Degradation	0,50%		
	Credit Capital			
	Percentage of Investment	0,00%		0%-100%
	Credit interest rate	6,00%		>=0%
	Grace period	5	years	>=0
	Total credit period	10	years	> Grace Period
	Present Value of Credit	100,0%	% of credit sum	
	Credit Cash Flow	148,7%	% of credit sum	
	Product Prices per Collector Area	1000		
	Total Collector Area	840		
	100 m ²	630	TD/m ²	
	1000 m ²		TD/m ²	
FPC	5000 m ²	1365	TD/m ²	
		1050		
	100 m ²	787,5	TD/m ²	
	1000 m ²		TD/m ²	
CPC	5000 m ²	1924	TD/m ²	
		1082		
	500 m ²	902	TD/m ²	
	2000 m ²		TD/m ²	
LFC	10000 m ²		TD/m ²	

Critères de sélection du meilleur cas

37



- Réduire la période d'amortissement statique si celle-ci dépasse cinq ans (SPP) pour sélectionner le meilleur cas
- S'il reste plus d'une possibilité, choisissez le plus grand système en se conformant à l'hypothèse de temps de retour de l'investissement.
- Pour le meilleur système (optimisé économiquement pour la surface du capteur et volume du réservoir) l'analyse de sensibilité sera exécutée.

4. Etudes de cas et résultats des simulations techniques et économiques

Cas du secteur tertiaire

Abdelhak Khémiri
CAMI



Description des cas – Aperçu

39

Secteur	ID	Projet	Utilisation	T*SOL	Capteur
		Type	Demande	Type du système	Technologie
Secteur Tertiaire	TS1	Hotel	Chauffage de l'eau (DHW) 25-85°C	A 2	plan, tubes sous vide
Secteur Tertiaire	TS2	Hopital	Chauffage de l'eau et des locaux 25-85°C	A 4	plan, tubes sous vide
Secteur Tertiaire	TS3	Piscine inérieure Pubique	Chauffage de piscine 25-60°C	B 6.2	plan
Secteur Tertiaire	TS4	Résidence collective	Chauffage de l'eau (DHW) 25-85°C	A 2	plan, tubes sous vide

TS 1: Hôtel / Chauffage de l'eau sanitaire

40

- 570 Chambres,
- Sousse
- Demande en eau chaude:
22.000 m³ à 55°C /an
- Profil horraire mesuré

Heating System (natural gas, heating oil)	Naturel gas
Efficiency	85% (89% combustion)
Thermal capacity installed/boiler (kW)	6280
Number of boilers	5
Temperature range (°C)	54°C-80°C
years of installation	More than 15 years
with circulation	yes
One way length of piping system	190 m
subsector	hotelkeeper
climate zone (coast, desert)	coast

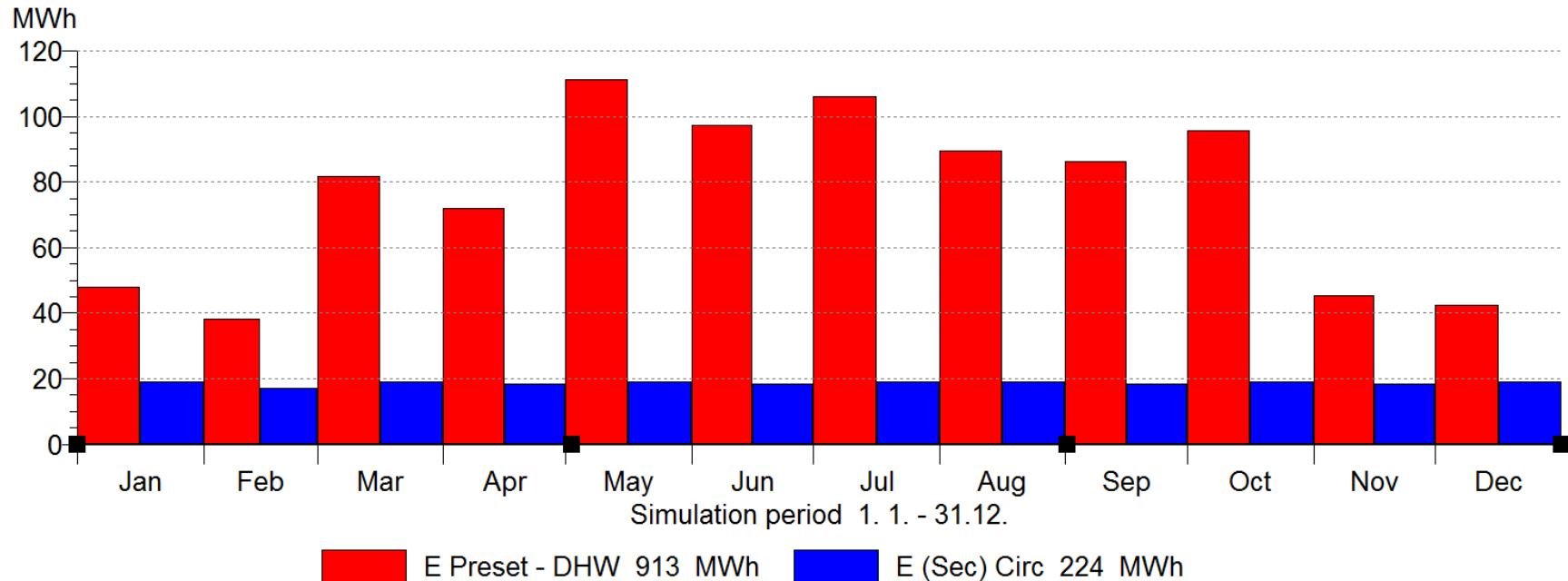
Profile in % of the annual demand (in sum 100%)

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dez	Sum
1.080	957	1.834	1.694	2.616	2.452	2.624	2.241	2.197	2.299	1.105	960	22059
4,9%	4,3%	8,3%	7,7%	11,9%	11,1%	11,9%	10,2%	10,0%	10,4%	5,0%	4,4%	100%

in sum 100%)	Profile in % of the daily demand (in sum 100%)																								Sum
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Mon	1,2%	1,2%	1,3%	1,3%	1,2%	1,1%	2,8%	6,7%	8,1%	9,3%	9,0%	8,3%	5,8%	4,7%	6,5%	7,4%	6,1%	3,5%	3,1%	3,7%	2,8%	1,9%	1,5%	1,5%	1
Thu	2,0%	1,6%	1,2%	1,1%	1,7%	3,0%	3,4%	6,9%	9,9%	7,0%	4,9%	4,7%	4,7%	5,3%	6,0%	6,4%	5,1%	4,1%	4,5%	5,4%	4,0%	2,6%	2,2%	2,4%	1
Wed	1,7%	1,4%	1,1%	0,9%	1,3%	2,1%	3,7%	7,5%	7,0%	7,5%	8,0%	7,9%	5,0%	4,7%	6,6%	7,2%	5,9%	3,2%	3,3%	4,6%	3,0%	2,2%	2,1%	2,0%	1
Thu	1,7%	1,4%	1,1%	0,9%	1,3%	2,1%	3,7%	7,5%	7,0%	7,5%	8,0%	7,9%	5,0%	4,7%	6,6%	7,2%	5,9%	3,2%	3,3%	4,6%	3,0%	2,2%	2,1%	2,0%	1
Fry	1,7%	1,4%	1,1%	0,9%	1,3%	2,1%	3,7%	7,5%	7,0%	7,5%	8,0%	7,9%	5,0%	4,7%	6,6%	7,2%	5,9%	3,2%	3,3%	4,6%	3,0%	2,2%	2,1%	2,0%	1
Sat	1,7%	1,4%	1,2%	1,0%	1,9%	3,0%	3,5%	8,4%	7,4%	7,9%	8,5%	8,2%	5,5%	3,8%	3,8%	3,6%	3,9%	3,6%	4,0%	4,8%	5,0%	3,5%	2,3%	1,9%	1
Sun	2,3%	1,6%	1,4%	1,2%	1,2%	1,4%	2,3%	6,0%	#####	6,9%	6,0%	5,2%	5,3%	5,1%	4,8%	4,7%	5,6%	5,0%	4,8%	5,8%	4,3%	3,2%	2,6%	2,5%	1

TS 1: Hôtel / Chauffage de l'eau sanitaire: profil optimal du à la haute demande en été

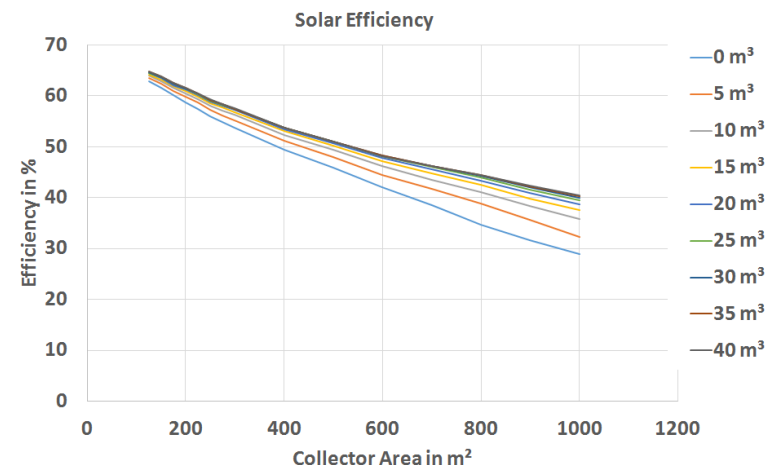
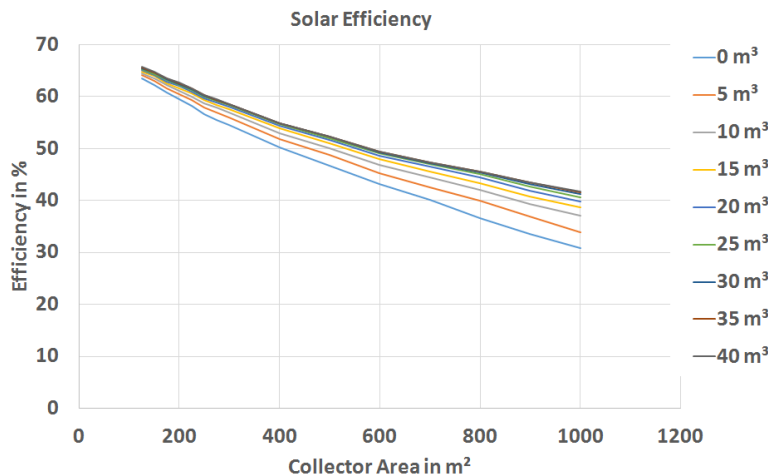
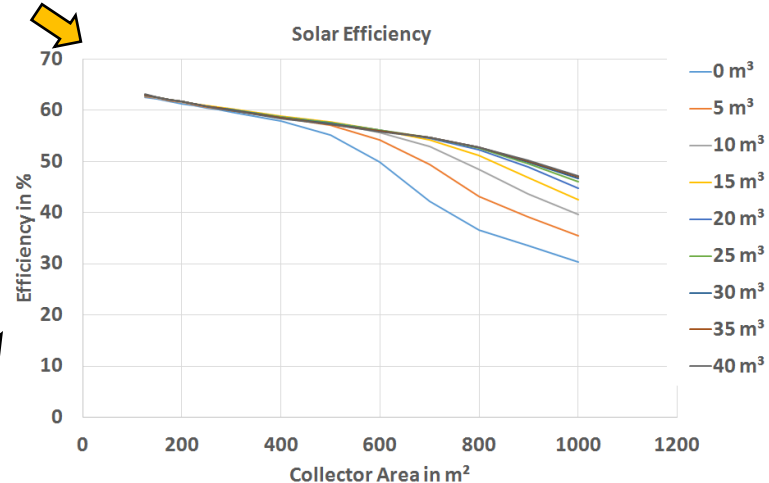
41



TS 1 - Efficacité solaire: le CPC est plus efficace pour les grandes surfaces

43

- A Djerba : le capteur à tubes sous vides (CPC) comparé au GPL
- A Djerba : le capteur plan (FPC) comparé au GPL
- A Tunis : le capteur plan (FPC) comparé au GN

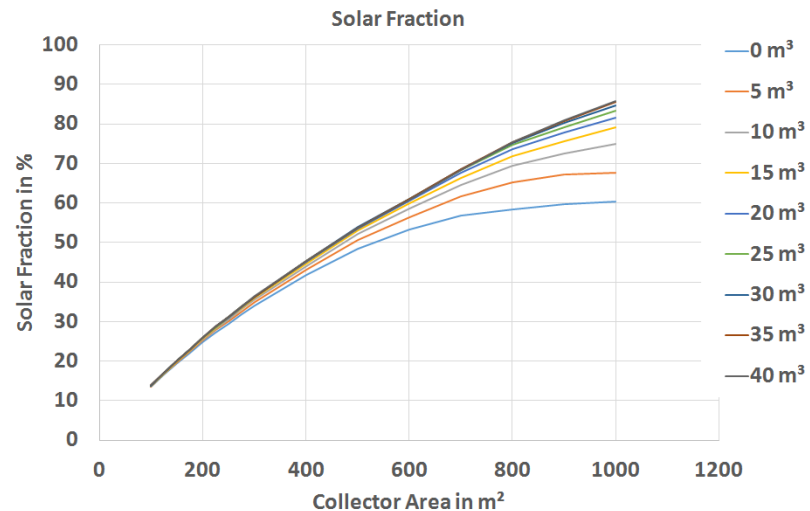
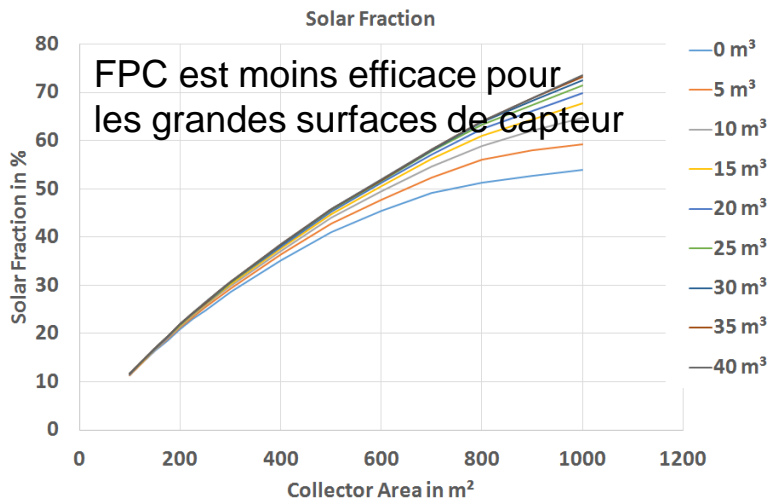
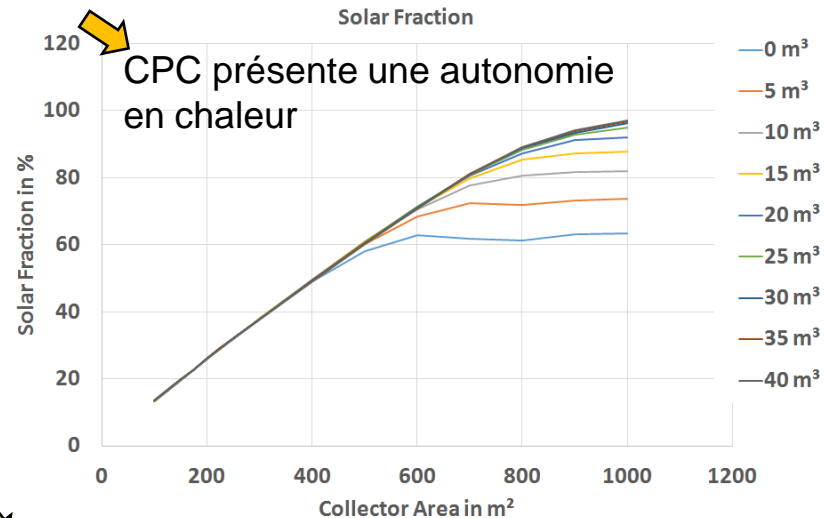


Les différences d'irradiation n'affecte pas la variation de l'efficacité

TS 1-Fraction solaire : la fraction solaire augmente proportionnellement avec la surface des capteurs

44

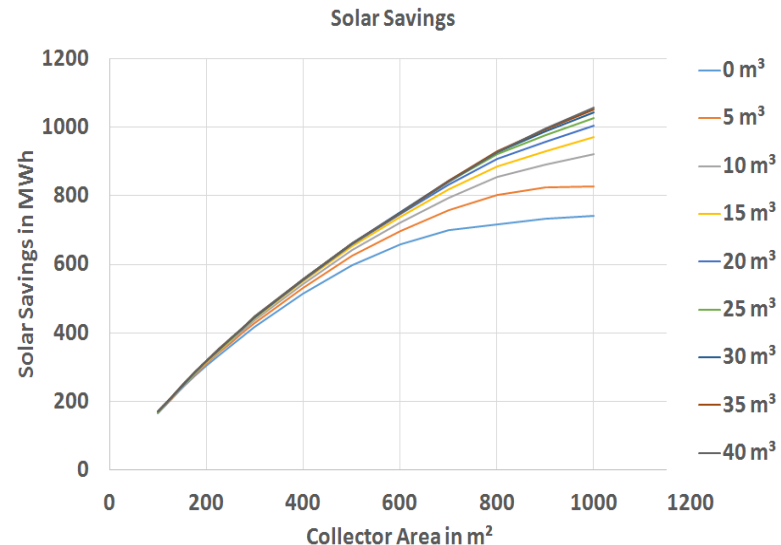
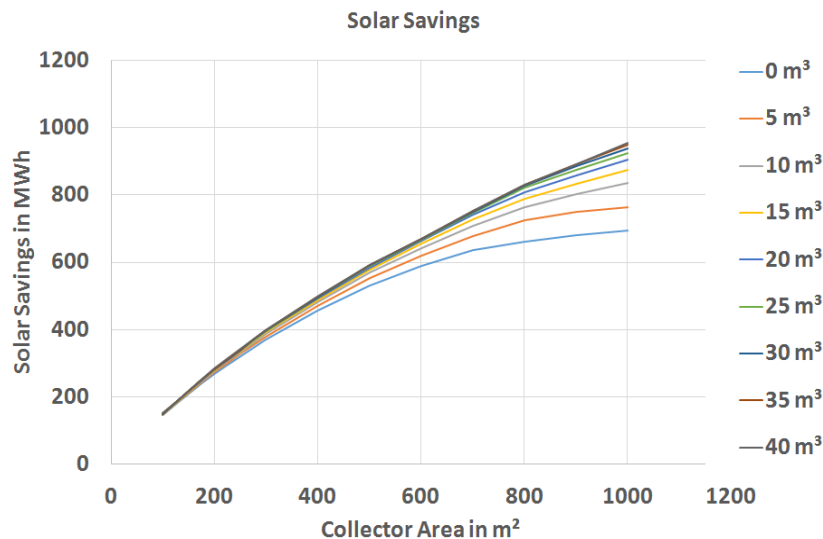
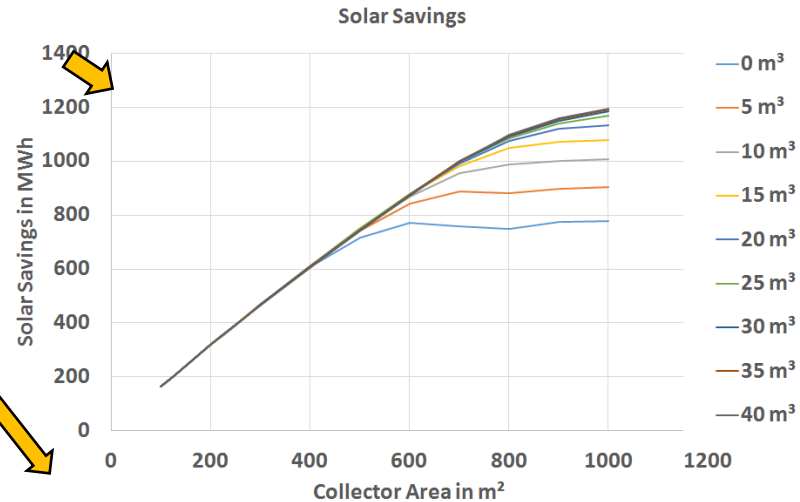
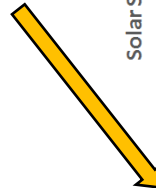
- A Djerba : le capteur à tubes sous vides (CPC) comparé au GPL
- A Djerba : le capteur plan (FPC) comparé au GPL
- A Tunis : le capteur plan (FPC) comparé au GN



TS 1-Economie Solaire : L'augmentation du stockage conduit à une meilleure autonomie en chaleur pour les grandes surfaces de capteurs

45

- A Djerba : le capteur à tubes sous vides (CPC) comparé au GPL
- A Djerba : le capteur plan (FPC) comparé au GPL
- A Tunis : le capteur plan (FPC) comparé au GN



Irradiation differences translate directly into differences of savings

TS 1-choix du volume de stockage doit tenir compte de la technologie, de la surface de capteurs et de la localisation

46

- A Djerba: le capteur à tubes sous vides (CPC) comparé au GPL
- A Djerba : le capteur plan (FPC) comparé au GPL
- A Tunis : le capteur plan (FPC) comparé au GN

NPV [TD*1000]	100 m ²	200 m ²	300 m ²	400 m ²	500 m ²	600 m ²	700 m ²	800 m ²	900 m ²	1000 m ²
0 m ³	163	317	467	612	711	720	617	528	509	455
5 m ³	147	302	453	603	746	832	833	747	714	667
10 m ³	131	287	438	587	743	863	938	925	882	834
15 m ³	115	271	422	570	727	863	967	1015	991	945
20 m ³	99	254	405	552	707	850	970	1044	1062	1027
25 m ³	83	238	388	534	687	832	962	1047	1081	1074
30 m ³	67	222	371	516	667	811	950	1043	1081	1086
35 m ³	51	206	354	498	648	792	934	1034	1076	1082
40 m ³	36	189	337	480	629	772	916	1021	1066	1072
Maximum	163	317	467	612	746	863	970	1047	1081	1086

NPV [TD*1000]	100 m ²	250 m ²	275 m ²	300 m ²	400 m ²	500 m ²	600 m ²	700 m ²	800 m ²	900 m ²	1000 m ²
0 m ³	210	437	468	498	596	674	713	725	697	672	636
5 m ³	196	436	469	501	609	707	765	814	833	821	776
10 m ³	181	429	465	499	612	721	796	863	910	924	925
15 m ³	165	419	456	491	609	723	810	889	950	976	1001
20 m ³	150	406	443	480	599	716	805	900	972	1008	1042
25 m ³	134	391	429	466	587	705	797	897	981	1025	1066
Maximum	119	376	414	451	572	690	783	885	977	1030	1077
0 m ³	103	361	398	435	556	673	766	869	965	1026	1079
5 m ³	87	345	382	419	539	655	746	848	945	1013	1072
Maximum	210	437	469	501	612	723	810	900	981	1030	1079

NPV [TD*1000]	100 m ²	300 m ²	400 m ²	500 m ²	600 m ²	700 m ²	800 m ²	900 m ²	1000 m ²
0 m ³	28	43	35	25	2	-24	-62	-101	-139
5 m ³	13	34	30	26	10	-7	-29	-63	-102
10 m ³	-3	23	22	21	11	0	-14	-38	-62
15 m ³	-19	10	11	12	6	0	-9	-29	-46
20 m ³	-35	-4	-2	1	-5	-5	-10	-27	-40
25 m ³	-51	-19	-16	-12	-17	-16	-17	-30	-40
30 m ³	-67	-34	-31	-27	-31	-30	-28	-38	-46
35 m ³	-83	-50	-47	-43	-47	-45	-43	-49	-54
40 m ³	-99	-66	-63	-59	-64	-62	-60	-65	-66
Maximum	28	43	35	26	11	0	-9	-27	-40

TS 1- Choix du meilleur système : La technologie solaire Vs GPL est très viable même pour les installations de grandes surfaces

47

- A Djerba : le capteur à tubes sous vides (CPC) comparé au GPL
- A Djerba : le capteur plan (FPC) comparé au GPL
- A Tunis : le capteur plan (FPC) comparé au GN



Collector Area [m²]	Extra Volume [m³]	Spec. Solar Yield [kWh/m²]	LHC [TD /MWh]	NPV [TD]	IRR [%]	DPP [y]	SPP [y]
100	0	1440	81,7	162.686	17,7	7,9	6,4
200	0	1398	81,5	316.553	17,8	7,9	6,4
300	0	1365	80,8	467.131	18,0	7,8	6,3
400	0	1332	80,1	611.876	18,1	7,7	6,3
500	5	1309	80,9	745.693	18,0	7,8	6,3
600	15	1287	82,9	863.161	17,5	8,0	6,5
700	20	1247	83,4	970.080	17,4	8,0	6,5
800	25	1193	84,8	1.046.991	17,2	8,1	6,6
900	30	1124	87,3	1.081.486	16,7	8,4	6,7
1000	30	1042	89,7	1.086.210	16,3	8,6	6,9

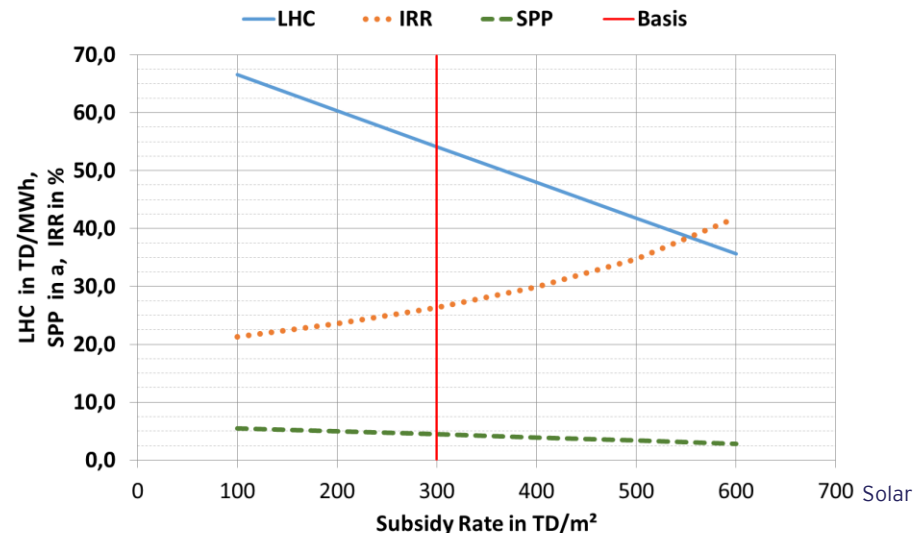
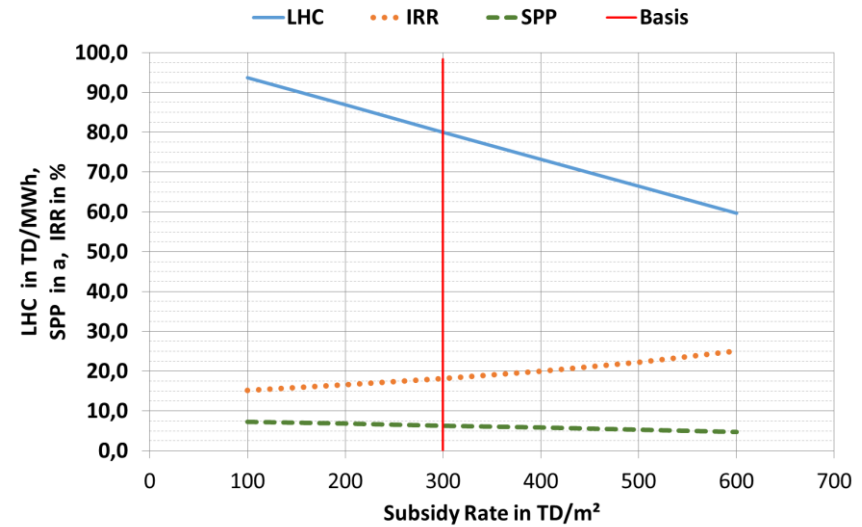
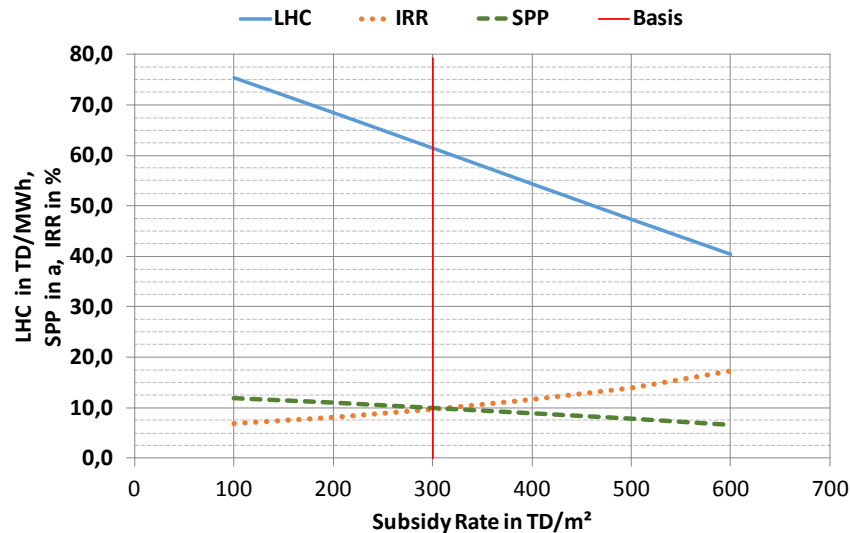
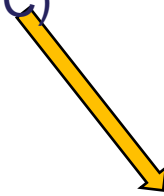
Collector Area [m²]	Extra Volume [m³]	Spec. Solar Yield [kWh/m²]	LHC [TD /MWh]	NPV [TD]	IRR [%]	DPP [y]	SPP [y]
100	0	1463	54,2	209.973	26,3	5,2	4,5
200	0	1340	57,8	373.746	24,9	5,5	4,7
300	5	1258	63,9	500.850	22,7	6,1	5,2
400	10	1193	67,9	612.139	21,4	6,5	5,4
500	15	1150	70,1	723.184	20,8	6,7	5,6
600	15	1084	71,3	809.865	20,5	6,8	5,6
700	20	1048	73,0	900.439	20,1	6,9	5,8
800	25	1013	74,5	980.816	19,7	7,1	5,9
900	30	966	76,8	1.029.723	19,1	7,3	6,0
1000	35	926	78,6	1.079.353	18,7	7,4	6,1

Collector Area [m²]	Extra Volume [m³]	Spec. Solar Yield [kWh/m²]	LHC [TD /MWh]	NPV [TD]	IRR [%]	DPP [y]	SPP [y]
100	0	1291	61,4	28.409	9,7	14,0	9,9
200	0	1185	65,3	42.023	8,9	15,1	10,5
300	0	1087	69,5	42.664	8,0	16,3	11,1
400	0	1004	73,4	35.385	7,3	17,4	11,6
500	5	976	76,6	25.661	6,8	18,5	12,1
600	10	940	79,6	11.002	6,3	19,4	12,5
700	15	915	81,3	360	6,0	20,0	12,7
800	15	869	82,6	-9.414	5,8	20,4	12,9
900	20	838	84,6	-26.869	5,5	21,1	13,2
1000	20	796	85,9	-39.774	5,3	21,6	13,4

TS 1-Sensibilité de la subvention : L'augmentation de la subvention (Diminution des coûts des systèmes) entraine systématiquement la diminution du Coût de Production de la Chaleur (LHC)

48

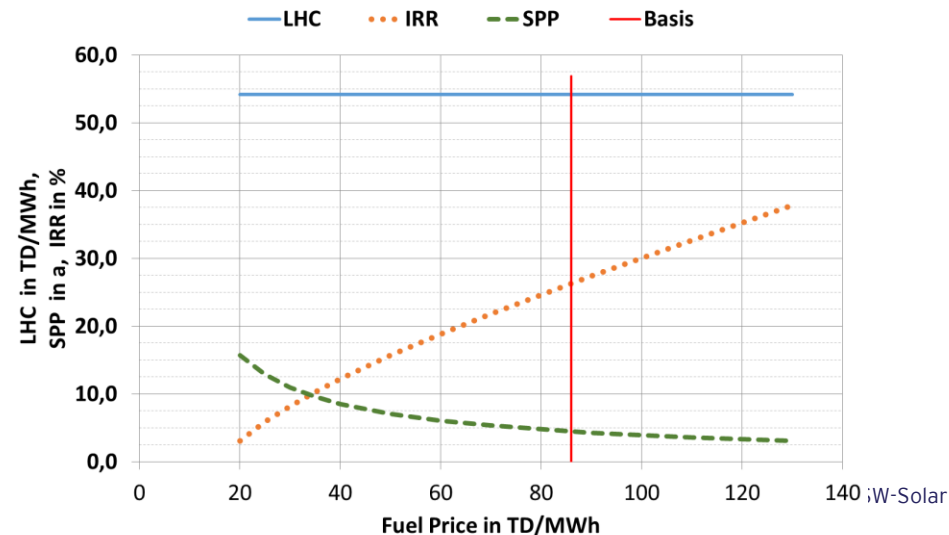
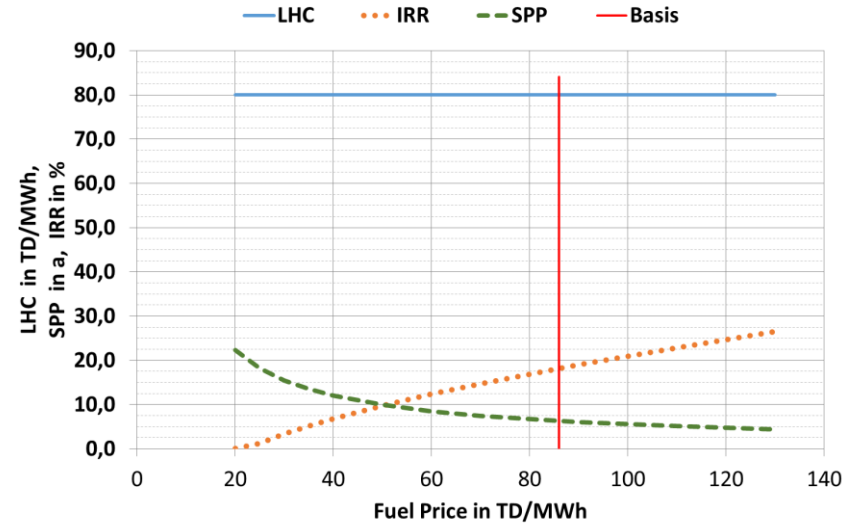
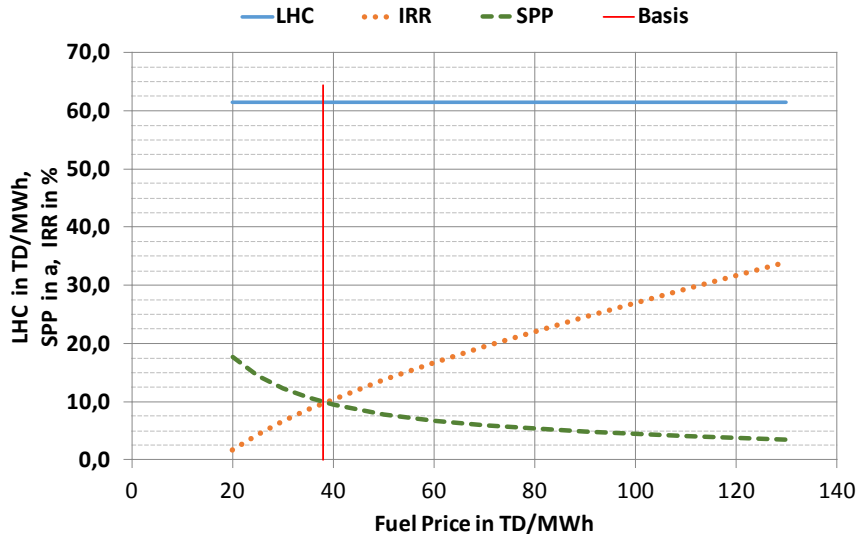
- A Djerba : le capteur à tubes sous vides (CPC) comparé au GPL
- A Djerba : le capteur plan (FPC) comparé au GPL
- A Tunis : le capteur plan (FPC) comparé au GN



TS 1-Sensibilité du cout du combustible : Les couts élevés des combustibles ont un impact significatif sur le temps de retour sur investissement et le taux de rentabilité interne (SPP & IRR)

49

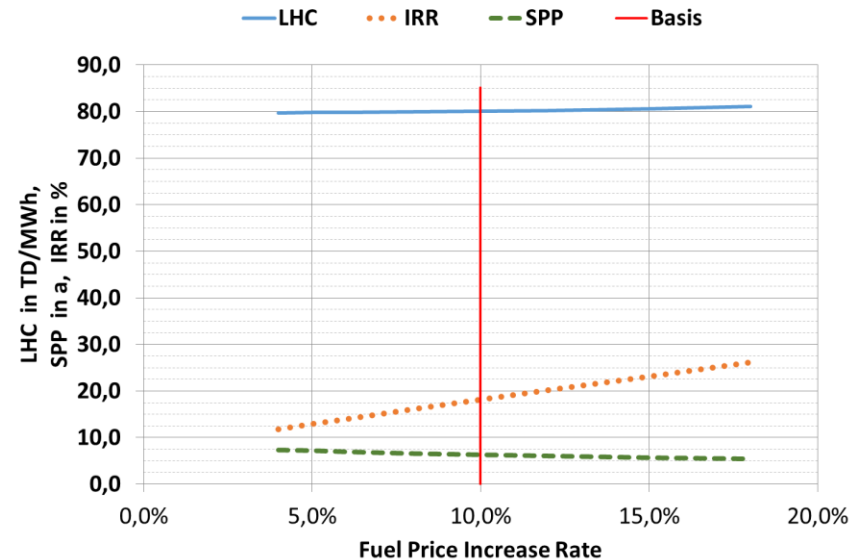
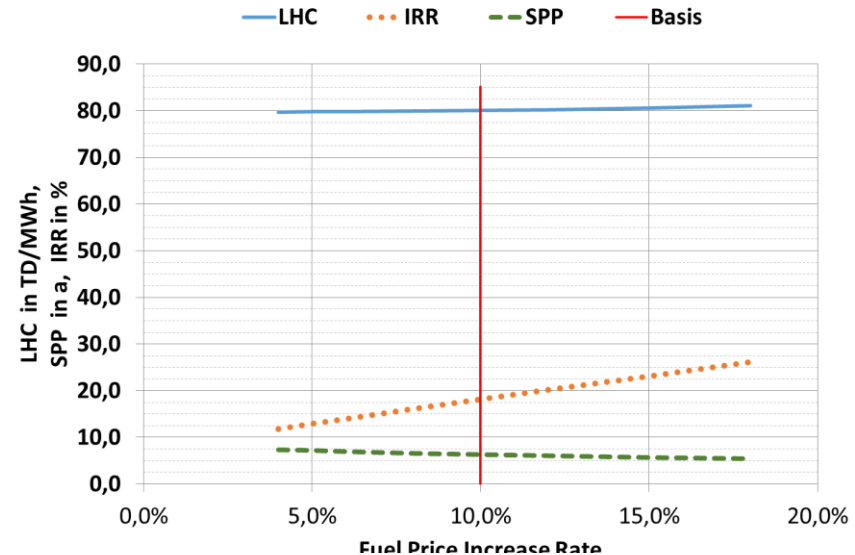
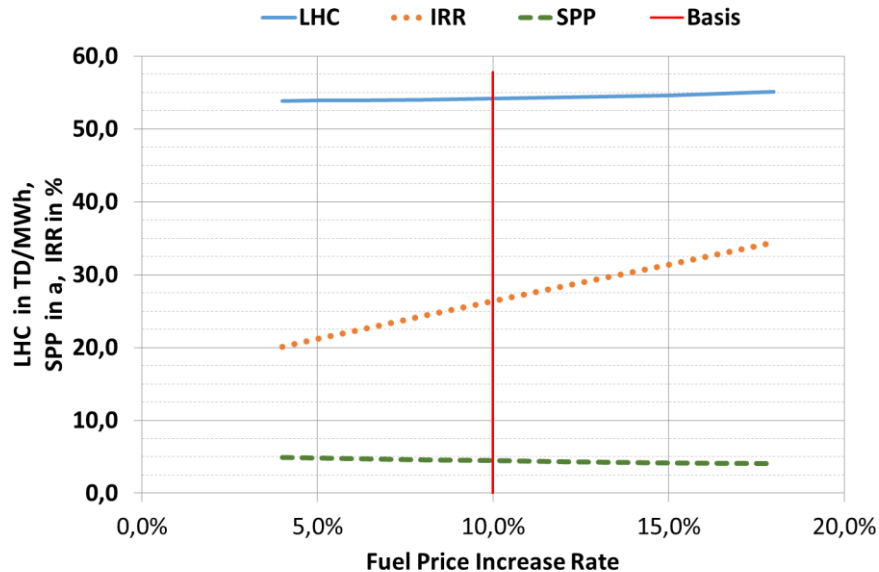
- A Djerba : le capteur à tubes sous vides (CPC) comparé au GPL
- A Djerba : le capteur plan (FPC) comparé au GPL
- A Tunis : le capteur plan (FPC) comparé au GN



TS 1-Sensibilité du taux d'augmentation du coût de l'énergie: les temps de retour diminuent pour les taux d'augmentation des coûts de l'énergie assez importants

50

- A Djerba : le capteur à tubes sous vides (CPC) comparé au GPL
- A Djerba : le capteur plan (FPC) comparé au GPL
- A Tunis : le capteur plan (FPC) comparé au GN



TS 2 : Hôpital / Chauffage de l'eau sanitaire et des locaux

51

- 246 lits
- La marsa /Tunis

Heating System (natural gas, heating oil)	Naturel Gas
Efficiency	89,3%/90,1%
Thermal capacity installed(kW)	600
Number of boiler	2
age of boiler	13

- Demande en eau chaude : 11.000 m³ /an à 60°C

Profile in % of the annual demand (in sum 100%) 2010												
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dez	Sum
1258	1102	1083	950	815	684	688	713	894	943	1096	1218	11444
11,0%	9,6%	9,5%	8,3%	7,1%	6,0%	6,0%	6,2%	7,8%	8,2%	9,6%	10,6%	100%

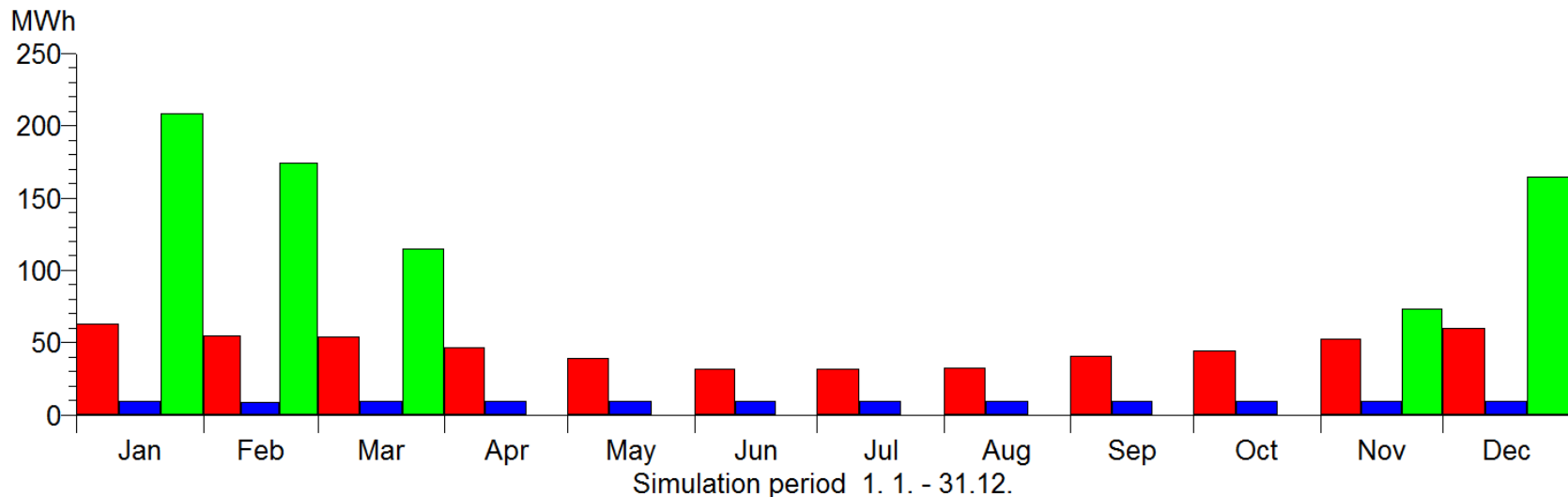
- Besoin en chauffage : 7.000 m²

Heating Demand	
Total heat demand	79.268 Nm ³
Total Heating Area	7039 m ²
Indoor temperature	20-22 °C
Specific internal heat gains	30/40 w/m ²

Profile in % of the annual demand (in sum 100%) 2010													
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dez	Sum	
19503	17999	16215	0	0	0	0	0	0	0	7122	18429	79268	
24,6%	22,7%	24,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	9,0%	23,2%	100%	

TS 2 : Hôpital / Chauffage de l'eau sanitaire et des locaux: profil optimal pour faible demande en été

52



■ E Preset - DHW 548 MWh ■ E (Sec) Circ 112 MWh
■ E Heating 735 MWh

TS 2-Hospital: comparé au gaz naturel , pour les capteurs à petites surfaces le temps de retour sur investissement est inferieur à 12 ans (SPP)

53



- CES + Chauffage à Tunis le capteur plan (FPC) comparé au gaz naturel

Collector Area [m²]	Extra Volume [m³]	Spec. Solar Yield [kWh/m²]	LHC /MWh	[TD]	NPV [TD]	IRR [%]	DPP [y]	SPP [y]
100	0	1175	72,4		11.603	7,5	17,2	11,5
200	0	1024	78,3		6.812	6,5	19,0	12,3
300	0	903	85,7		-13.144	5,4	21,5	13,4
400	4	843	92,5		-41.695	4,4	24,0	14,3
500	8	797	97,3		-70.368	3,8	25,8	15,0
600	8	711	105,0		-111.807	2,9	29,1	16,1
700	12	669	110,4		-150.455	2,2	31,5	16,8
800	12	614	116,1		-188.364	1,6	34,3	17,6
900	12	561	122,5		-229.915	1,0	37,8	18,6
1000	12	520	127,8		-266.827	0,4	41,0	19,3

- CES + Chauffage à Djerba le capteur plan (FPC) comparé au GPL

Collector Area [m²]	Extra Volume [m³]	Spec. Solar Yield [kWh/m²]	LHC /MWh	[TD]	NPV [TD]	IRR [%]	DPP [y]	SPP [y]
100	0	1345	63,2		179.565	22,8	6,1	5,1

- Meilleur Système: CES uniquement à Tunis avec le capteur plan (FPC) comparé au gaz naturel

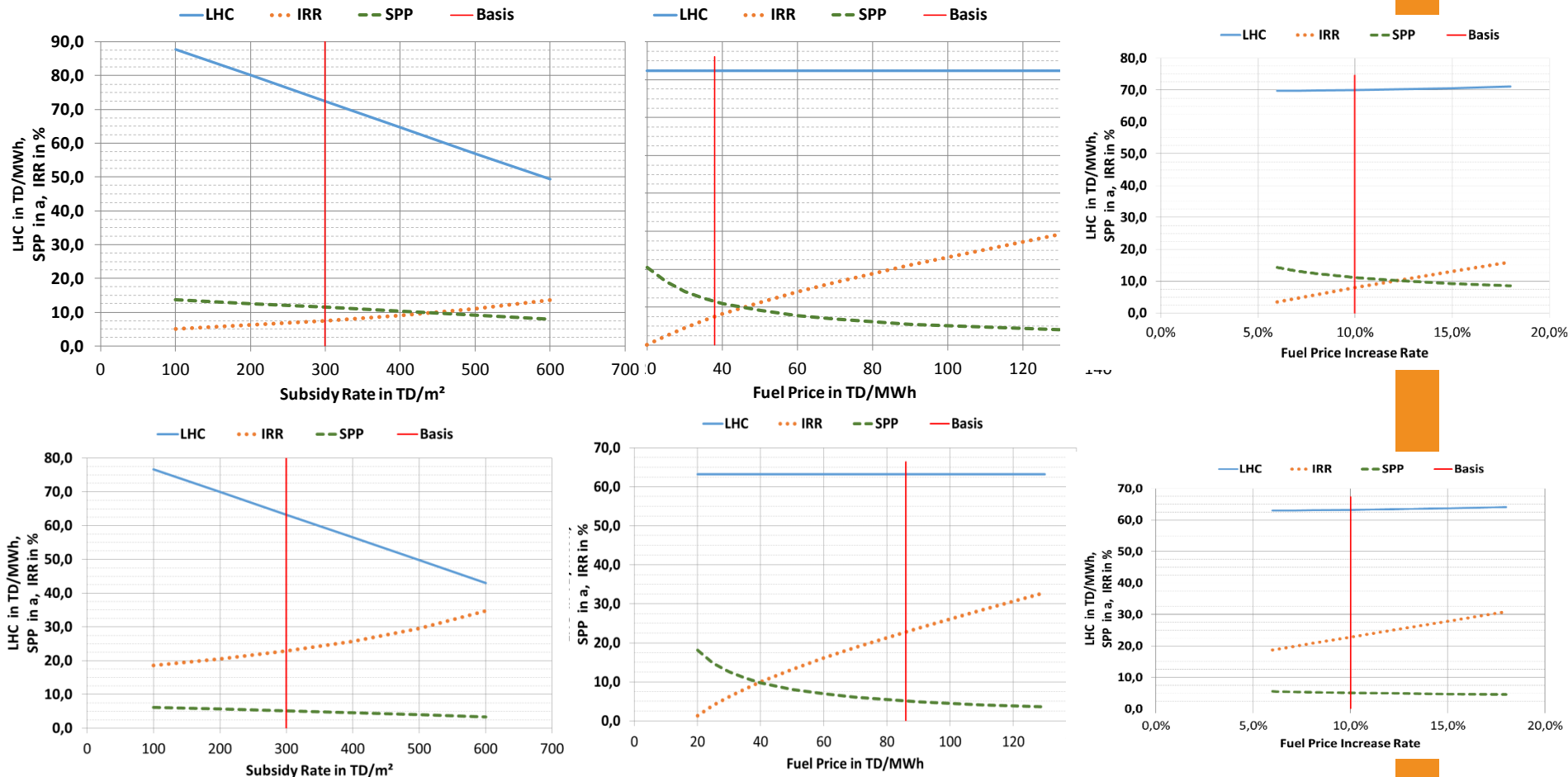
Collector Area [m²]	Extra Volume [m³]	Spec. Solar Yield [kWh/m²]	LHC /MWh	[TD]	NPV [TD]	IRR [%]	DPP [y]	SPP [y]
100	0	1130	70,0		14.102	7,9	16,4	11,2

Meilleur temps de retour sur investissement (DPP) comparé au chauffage des locaux qui ne nécessite pas un réservoir tampon

TS 2 - Hôpital – Etude de Sensibilité

54

- A Tunis, le capteur plan (FPC) comparé au gaz naturel



- A Jerba, le capteur plan (FPC) comparé au GPL

Matrice de rentabilité des meilleurs cas du secteur tertiaire

55



ID	Case	Demand	Location	Type	Fuel	Area [m²]	LHC [TD/MWh]	NPV [TD]	IRR [%]	DPP [y]	SPP [y]
TS 1	Hotel	DHW + Circulation	Jerba	FPC	LPG	100	54,2	209.973	26,3	5,2	4,5
TS 4	Residence	DHW	Jerba	FPC	LPG	10	60,1	18.256	24,2	5,7	4,9
TS 3	Pool	Indoor Pool	Jerba	FPC	LPG	200	61,9	337.285	23,4	5,9	5,0
TS 2	Hospital	DHW + Circ + Space Heating	Jerba	FPC	LPG	100	63,2	179.565	22,8	6,1	5,1
TS 1	Hotel	DHW + Circulation	Jerba	CPC	LPG	400	80,1	611.876	18,1	7,7	6,3
TS 1	Hotel	DHW + Circulation	Tunis	FPC	NG	100	61,4	28.409	9,7	14,0	9,9
TS 4	Residence	DHW	Tunis	FPC	NG	10	67,4	1.822	8,5	15,6	10,8
TS 2	Hospital	DHW + Circulation	Tunis	FPC	NG	100	70,0	14.102	7,9	16,4	11,2
TS 3	Pool	Indoor Pool	Tunis	FPC	NG	150	71,1	18.660	7,7	16,8	11,3
TS 2	Hospital	DHW + Circ + Space Heating	Tunis	FPC	NG	100	72,4	11.603	7,5	17,2	11,5

- Tous les cas sont économiquement viables = NPV (VAN) positive et IRR
- Combustible= GN => SPP > 9,9 ans
- Combustible = GPL => SPP > 4,5 ans
- Les temps de retour sur investissement (SPP) sont plus intéressants à Djerba (< 7) qu'à Tunis (≥ 10 ans) à cause du changement du GPL

5. Etudes de cas et résultats des simulations techniques et économiques

Cas du secteur industriel

Eng. Ali Ben Hmid



Description des cas

57

Secteur	ID	Branche	Site	Technologie	Système de Chauffage	Intégration du solaire
Industriel	IS1	IAA	Sousse	CPC LFC	Gaz Naturel	Supply Level Feed water preheating 75°C: 45 -105
Industriel	IS2	IAA	Tunis	FPC CPC	Fioul lourd	Process level Hot water 55°C: 25-85
Industriel	IS3	Textile	Tunis	CPC LFC	Gaz Naturel	Supply Level Saturated steam 165°C
Industriel	IS4	IMCCV Briqueterie	Tunis	CPC LFC	Gaz Naturel	Supply Level Hot air 70°C: 25 - 120°C

Les cas doivent être représentatifs, Mais la simulation est basée sur des données d'entrée généraux et non pas des données spécifiques à une société ou un bâtiment.

IS 1 : IAA / Approvisionnement en eau préchauffée

58

Heating System (natural gas, heating oil)	natural gas
Boiler Efficiency	90%
Thermal capacity installed	14.840
Number of boilers	2
Sector	Industry
subsector	food
Products	milk
climate zone (coast, desert)	Sousse
Operation period	24 h / 7 days a week / 365 days per year
total consumption gas Nm3	2.792.163

	Temperatur Level (°C)		
Medium (Water/Steam/Air)	supply temperature of process water	Condensate return temperature	Supply temperature to the process
steam	25	50	190

Données d'entrée pour T*Sol

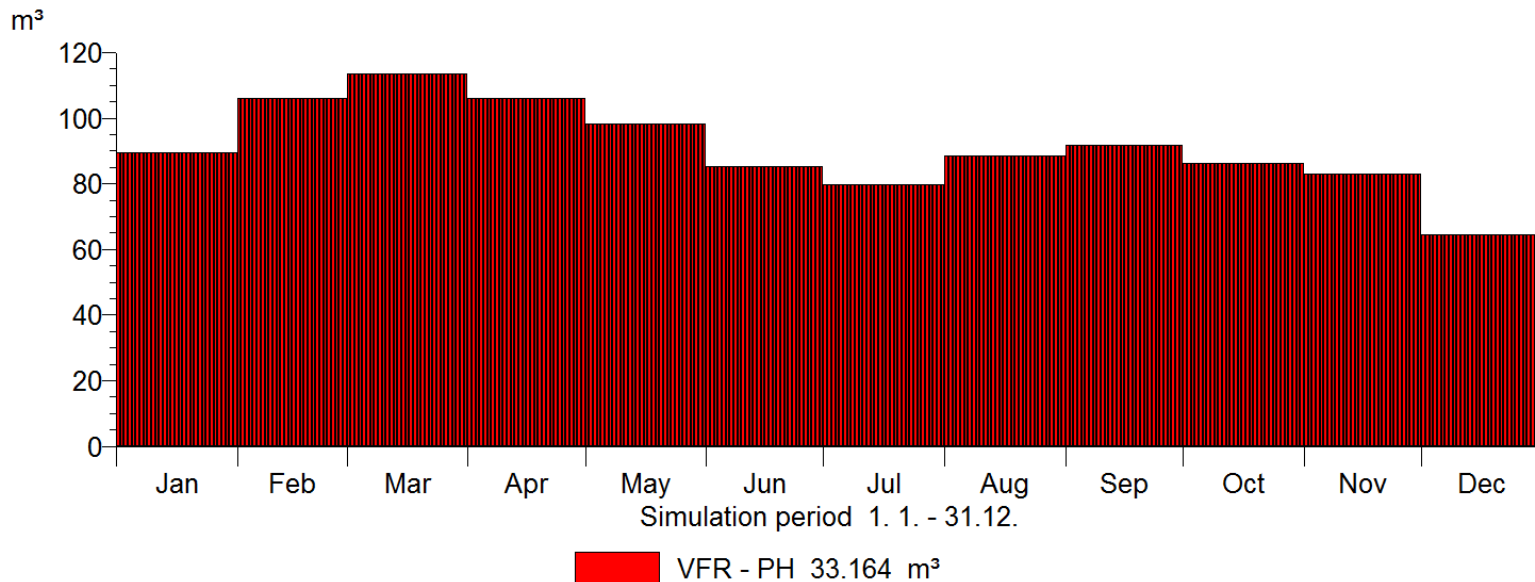
equivalent hours of full load	1.957 h/a
boiler efficiency due to part load and standby	80%
heat production	23.231 MWh/a
Steam	33.187 t/a
feed water preheating	45 - 105 °C

IS 1 : IAA / Approvisionnement en eau préchauffée

59

Profile in % of the annual demand gas (in sum 100%)												
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dez	Sum
228.664	270.426	290.457	270.426	252.344	218.406	204.209	224.987	234.094	219.439	212.857	165.854	2.792.163
8,2%	9,7%	10,4%	9,7%	9,0%	7,8%	7,3%	8,1%	8,4%	7,9%	7,6%	5,9%	100%

Hypothèse pour le profil journalier et horaire : constant

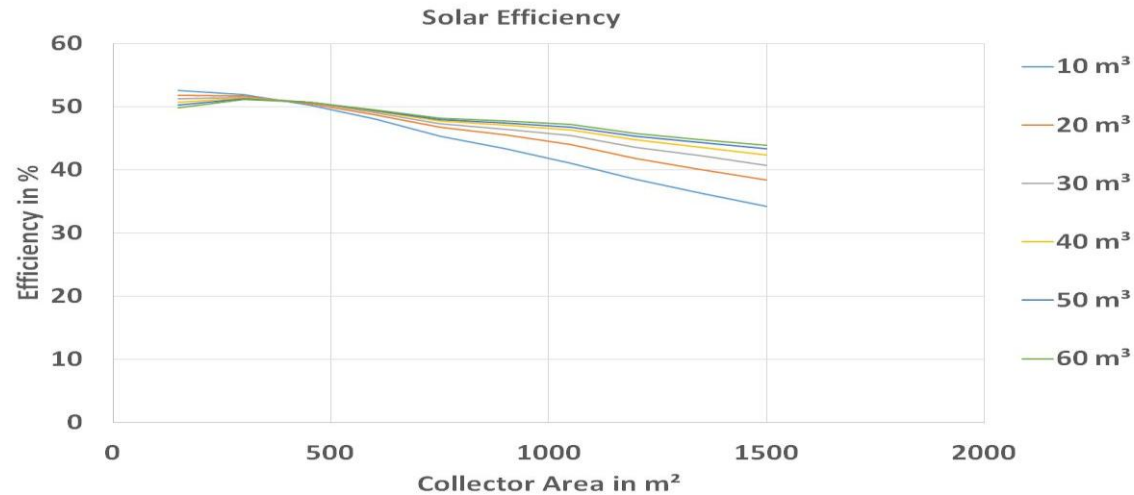


IS 1 : IAA – Efficacité solaire:

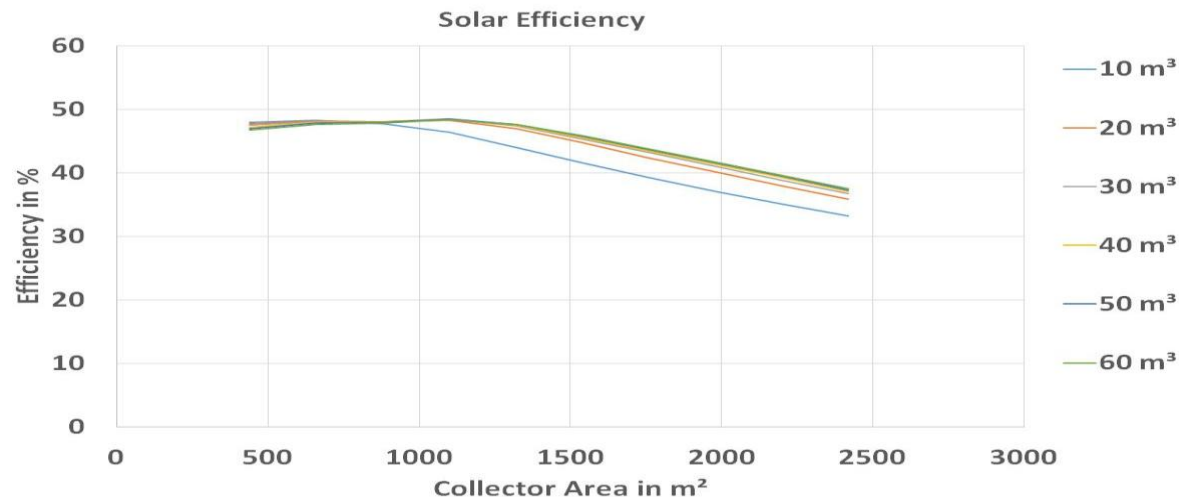
pour un niveau de température $< 105^{\circ}\text{C}$, le CPC n'est plus performant

60

- A Tunis, **CPC** comparé au gaz naturel



- A Tunis, **LFC** comparé au gaz naturel

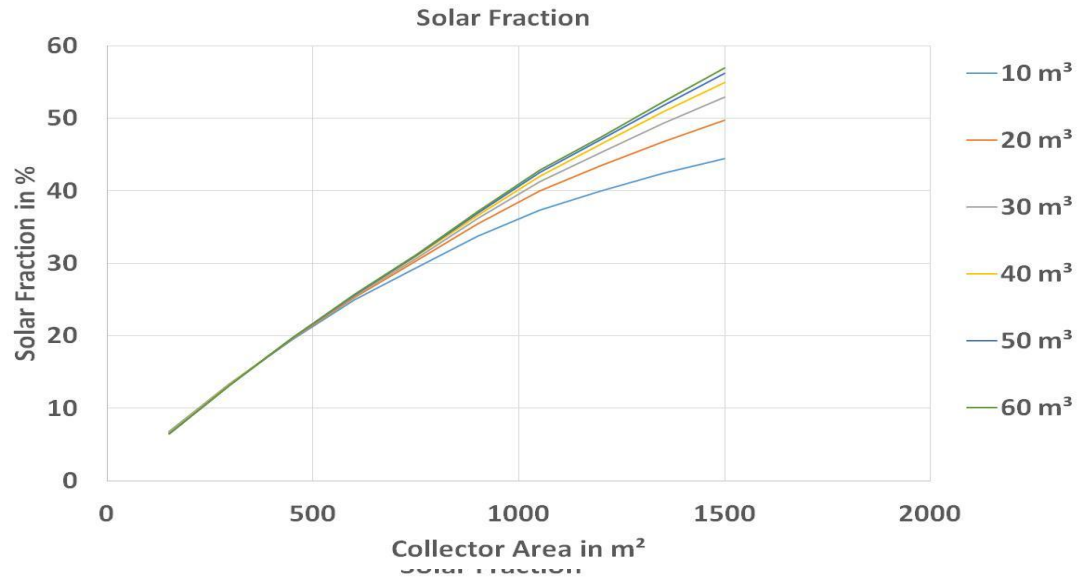


IS 1 IAA – Fraction solaire :

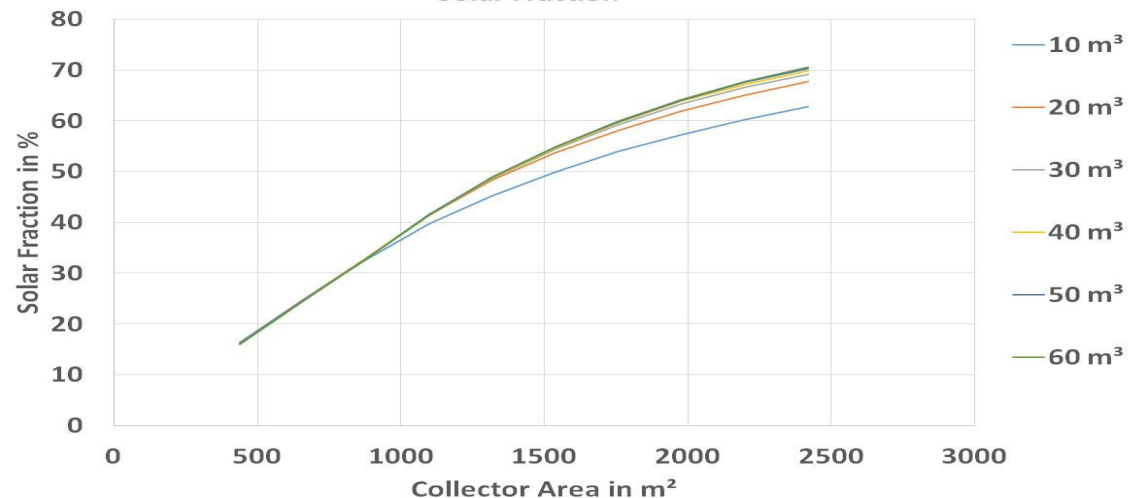
Le LFC ne délivre pas plus d'énergie pour les systèmes à petites surfaces de capteur

61

- A Tunis avec des capteurs **CPC** comparé au gaz naturel



A Tunis avec des capteurs **LFC** comparé au gaz naturel

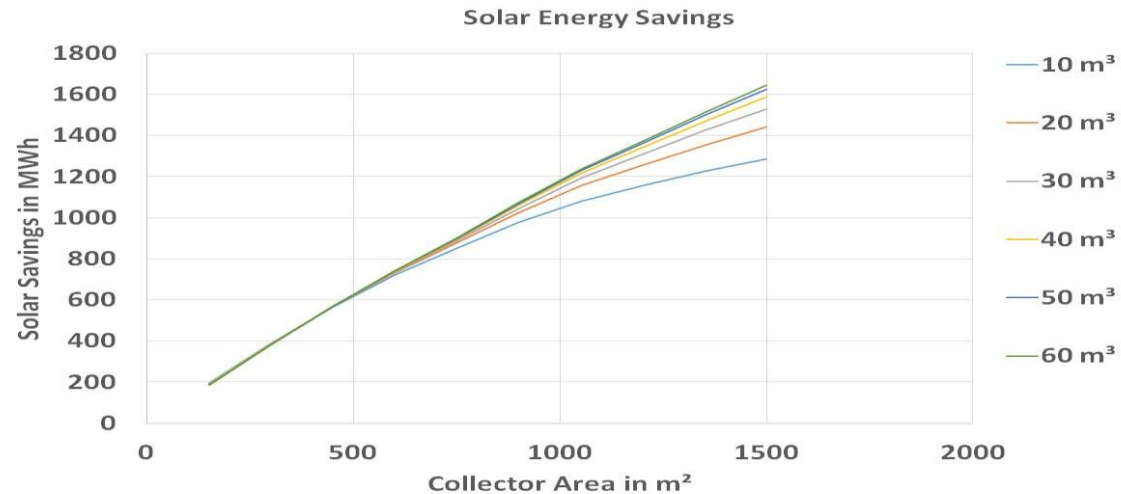


IS 1 IAA – Economie solaire:

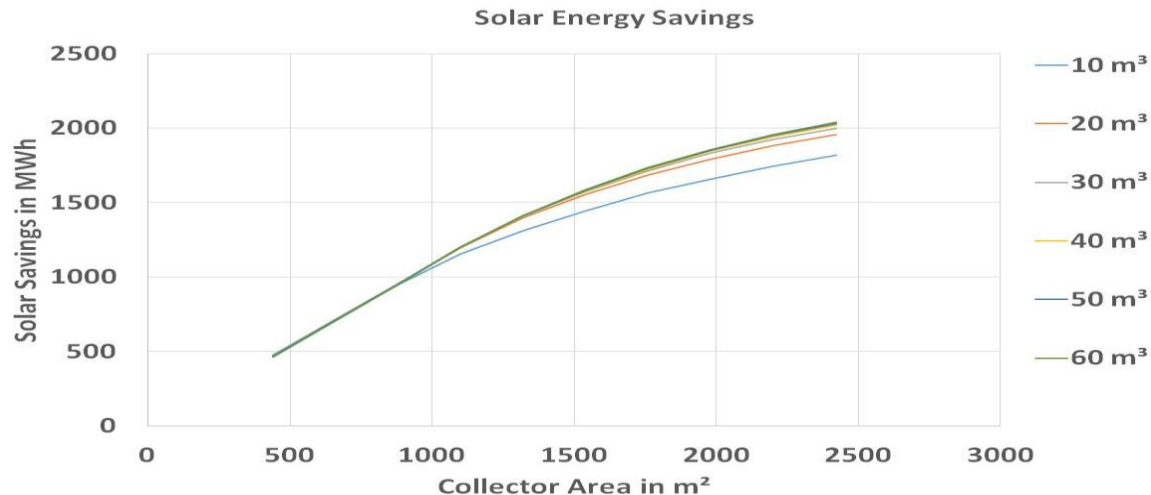
le niveau de température n'est pas assez élevé pour bénéficier des avantages du LFC

62

- A Tunis avec des capteurs **CPC** comparé au gaz naturel



A Tunis avec des capteurs **LFC** comparé au gaz naturel



IS 1 IAA - Les Gains solaires ne peuvent t pas délivrer des temps de retour sur investissement raisonnables

63



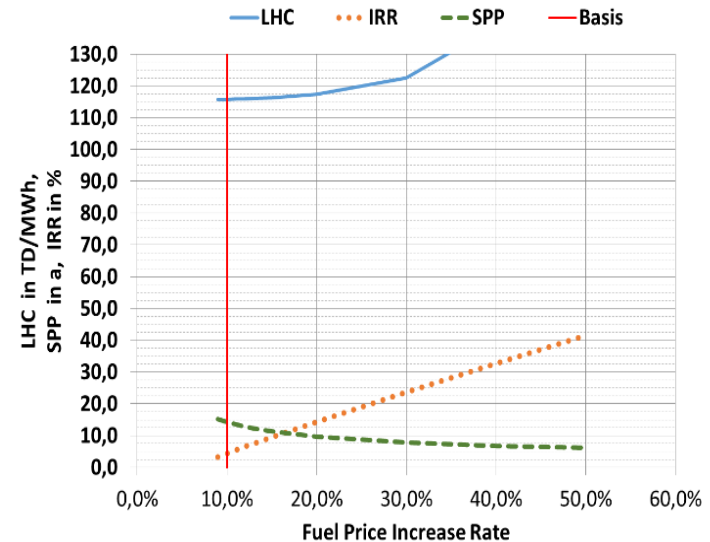
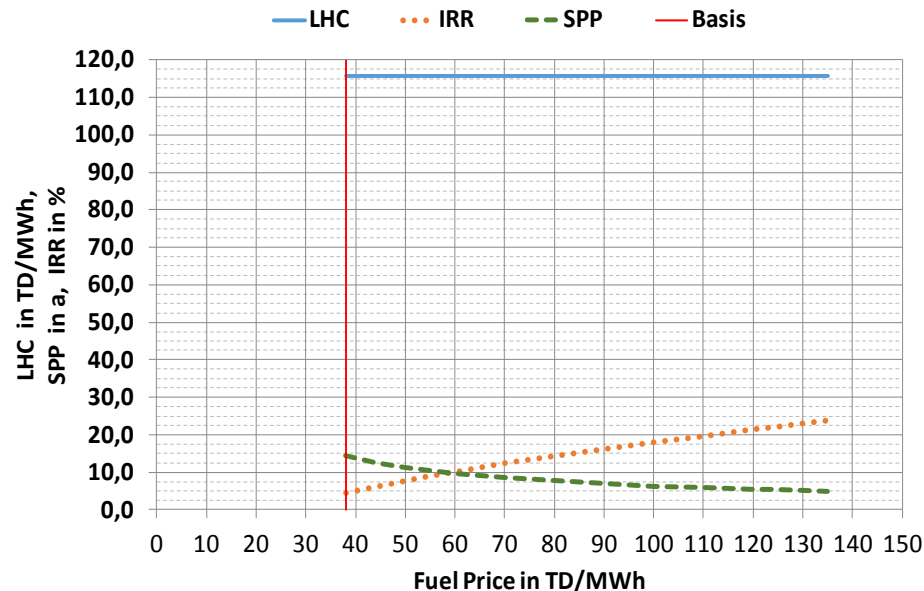
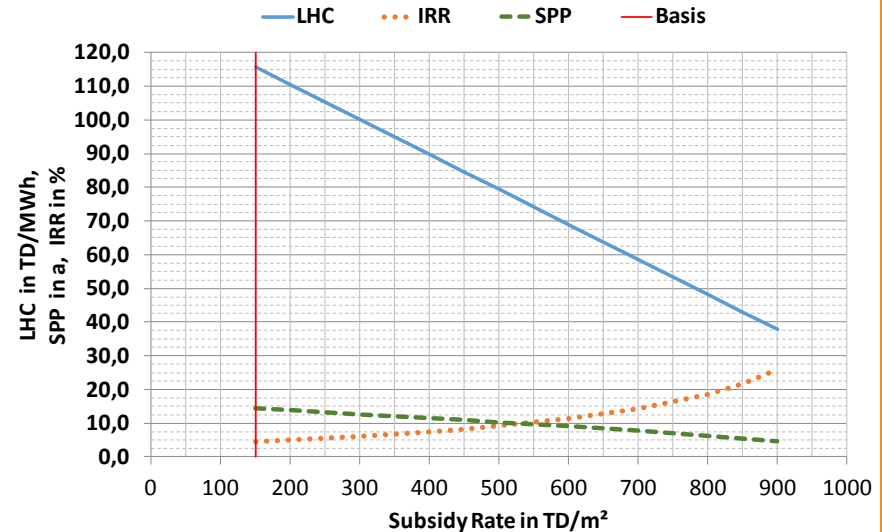
Cas les plus optimistes

Location	Type	Fuel	Area [m ²]	LHC [TD/ MWh]	NPV [TD]	IRR [%]	DPP [y]	SPP [y]
Sfax	CPC	NG	1050	115,7	-297.500	4,4	33,8	14,3
Tunis	CPC	NG	1050	133,2	-411.941	2,8	47,9	16,1
Tunis	LFC	NG	1980	181,6	-1.339.295	< 0	> 100	24,1

IS 1 IAA: La viabilité ne peut être atteinte qu'en triplant les subventions ou les prix des carburants

65

- A **SFAX, CPC**
comparé au gaz naturel



IS1 – Cas le plus optimiste à Tunis

Pour atteindre un temps de retour de 5 ans (SPP)

66



Il faudrait:

- Une subvention de 950 DT/m² (6x le montant de la subvention actuelle) ou 90% de subvention par rapport à l'investissement global!
- Un taux d'augmentation du prix de l'énergie de l'ordre de 60% par an (Taux actuel 10%)
- Un niveau de prix du gaz naturel de l'ordre de 140 TD/MWh (Actuellement:38 TD/MWh)

Mécanisme Incitatif FTE

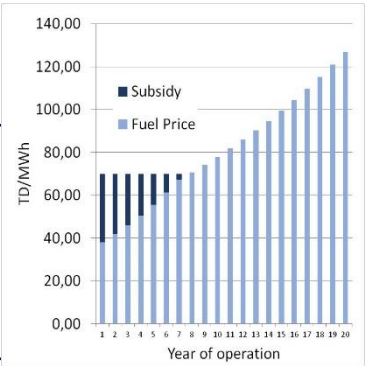
67



Item	Description
Subvention	TD 150 / m ² de capteurs Fonds propres
Fonds propres	30 %
Prêt FTE:	25 % de l'investissement total Taux d'intérêt: 2 % / an Période de grâce : 5 ans Durée de maturité: 15 ans
Prêt bonifié	245 % de l'investissement total Taux d'intérêt: 5 % / an au lieu de 7% Période de grâce : 0 ans Durée de maturité: 10 ans
Revenus additionnels	25% de remboursement des subventions de carburant économisées par l'ANME

La Subvention FTE, Cas IS1 – CPC à Sfax

68

Paramètre	Valeur	Unité
Prix du combustible avant subvention – GN	70	TD/MWh
Prix du combustible subventionné- GN	38	TD/MWh
Facteur d'augmentation des prix de l'énergie Année 1 à 6	110,0%	
Facteur d'augmentation des prix de l'énergie Année 7 à 20	105,0%	
Facteur d'augmentation du prix du combustible avant subvention	100,5%	
Facteur de dégradation	99,5%	
Rendement solaire (TS 1,1-1,4 IS 0,8-1)	1	
Rendement de la chaudière	80,0%	

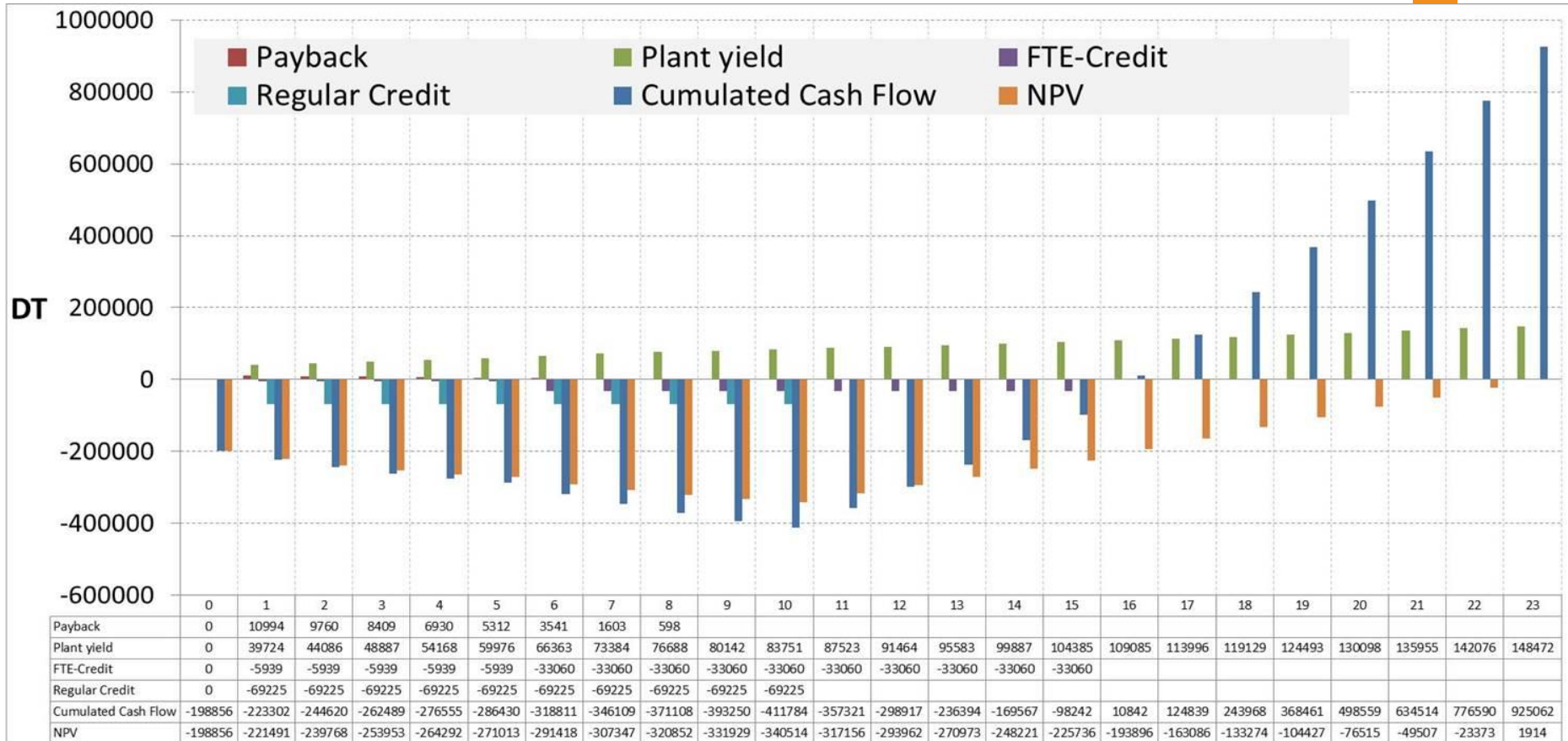
La Subvention FTE, IS1 – CPC à Sfax Meilleur Cas

69

Collector Area [m ²]	Extra Volume [m ³]	Spec. Solar Yield [kWh/m ²]	LHC [TD /MWh]	NPV [TD]	IRR [%]	DPP [y]
150	10	1212	115,2	-49.838	4,4	34,1
300	10	1194	104,0	-60.106	5,6	27,7
450	10	1155	100,0	-67.578	6,1	25,7
600	10	1106	98,2	-74.888	6,3	24,9
750	10	1046	97,9	-86.726	6,4	24,8
900	20	1050	95,0	-78.271	6,8	23,5
1050	30	1047	93,3	-73.589	7,0	22,8
1200	30	1006	95,2	-102.387	6,7	23,6
1350	40	1005	95,7	-120.884	6,7	23,8
1500	50	999	96,4	-144.365	6,6	24,1

Simulation du Cash flow du cas IS1 & Conditions de financement FTE

70



IS1- Résultats

71

Item	DT	Planifié	Réal Contribution en tant que subvention dans l'investissement global
Cout total	1187855	100 %	
Subsidy grant (150 DT/ m²):	157500		13,3 %
Fonds propres	198856	30 %	
Crédit bonifié FTE	296964	25 %	10,3%
Crédit bonifié	534535	45 %	5,9%
Revenu additionnel (140 TD / m²) * 0,25	3675		3,1 %
Subvention totale			32,6 %
Temps de retour SPP changé		16,7 ans 14,3 ans (sans FTE)	
Temps de retour DPP amélioré		23,8 ans 33,8 ans (sans FTE)	

IS 2: IAA / Niveau des procédés



IS 2 : IAA / Niveau des procédés

73

Heating System (natural gas, heating oil)	fuel oil
Boiler Efficiency	89%
Thermal capacity installed	17.000
Number of boilers	2
Sector	Industry
subsector	food
Products	yeast
climate zone (coast, desert)	Tunis area
Operation period	24 h / 7 days a week / 335 days per year
total energy consumption MWh / a	34.001

Temperatur Level							
Process name	Medium (Water/Steam/Air)	Supply temperature in °C	Return temperature in °C	Temperature of the process fluid in °C			14.600
cleaning / CIP	STEAM	170	120	Water	25	85	3.417 MWh/a

Données d'entrée pour T*Sol

efficiency of hot water production due to losses	85%		
heat production	3.417 MWh/a		
water preheating	25 - 85 °C		

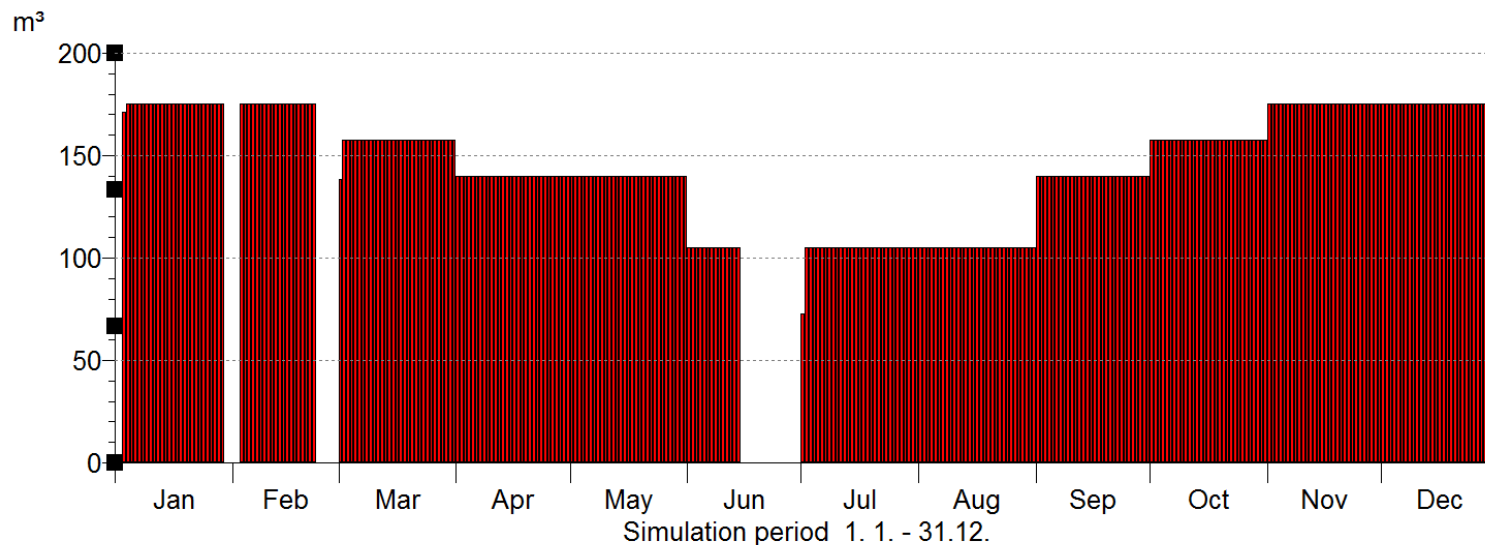
IS 2 : IAA / Niveau des procédés:

Le mois de Juin affecte le profil de la demande

74

	Profile in % of the annual demand (in sum 100%)												
monthly consumption %	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dez	Sum
	10	10	9	8	8	6	6	6	8	9	10	10	100

Profils horaire et journalier: Constants



IS 2 IAA: comparé au cas IS 1, la viabilité économique est similaire (SPP > 11 ans) (mieux cas)

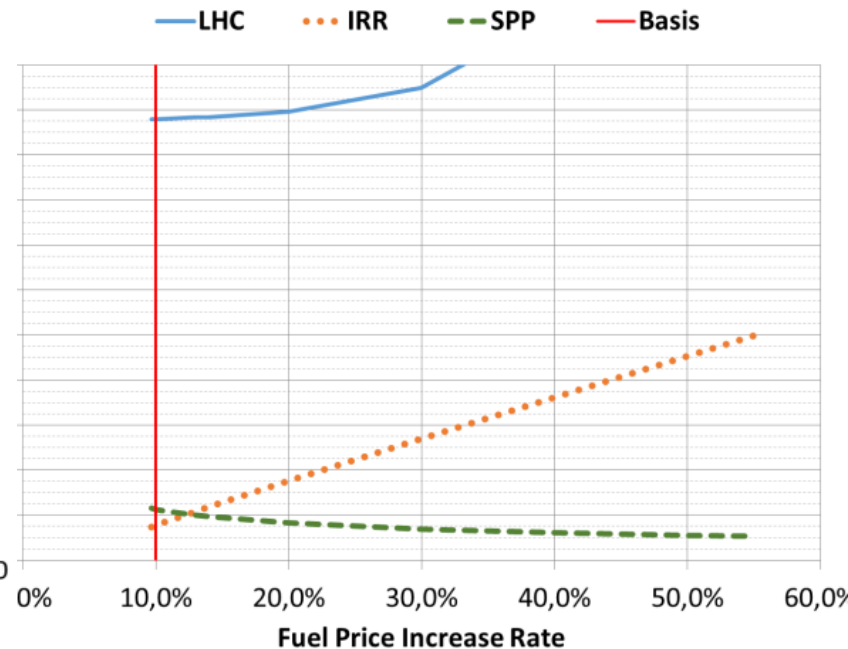
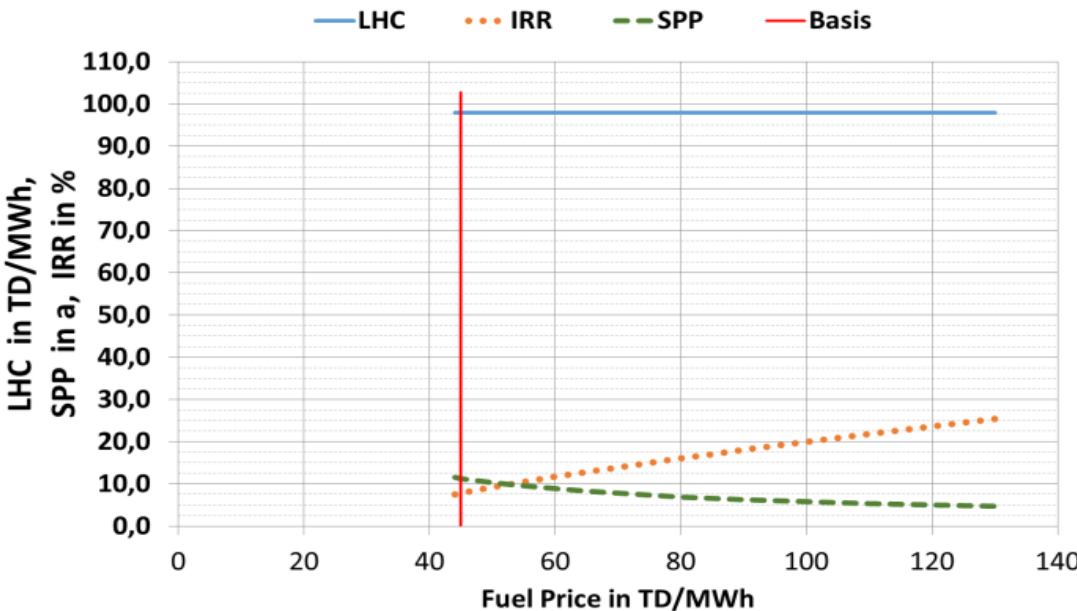
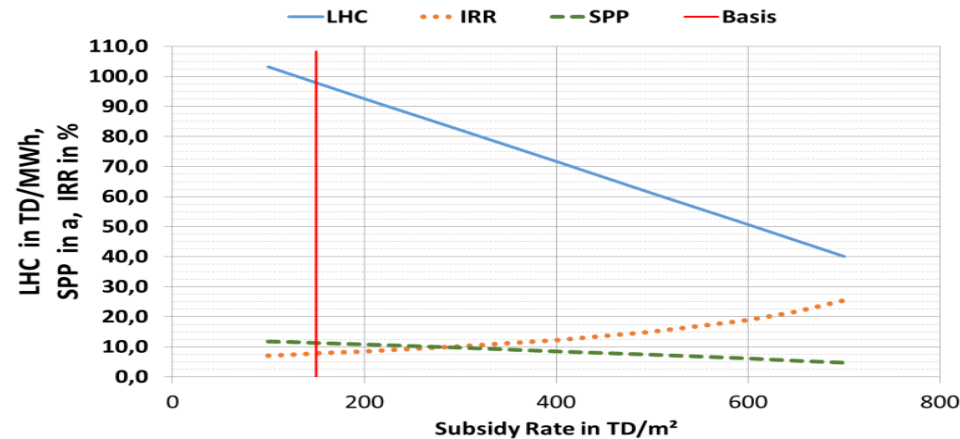
75

Location	Type	Fuel	Area [m ²]	LHC [TD/MWh]	NPV [TD]	IRR [%]	DPP [y]	SPP [y]
Sfax	FPC	HF	500	97,3	-5.677	7,9	20,4	11,2
Tunis	FPC	HF	1000	114,6	-149.904	5,8	26,9	12,9
Tunis	CPC	HF	1000	115,2	-182.553	5,8	27,1	13,0

IS 2 IAA: Temps de retour <10 ans Sous quelles conditions?

76

- A **SFAX FPC** comparé au Fioul lourd



IS2 – Cas le plus optimiste à Sfax

Pour atteindre un temps de retour de 5 ans

77



Il faudrait:

- Une subvention de 700 DT/m² (5x le montant de la subvention actuelle) ou 74% de subvention par rapport à l'investissement global!
- Un taux d'augmentation du prix de l'énergie de l'ordre de 55% par an (Taux actuel 10-5%)
- Un niveau de prix du fioul lourd de l'ordre de 130 TD/MWh (Actuellement:45 TD/MWh)

Mécanisme Incitatif FTE

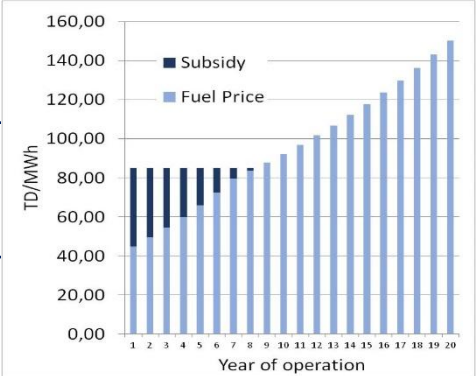
78



Item	Description
Subvention	TD 150 / m ² de capteurs Fonds propres
Fonds propres	30 %
Prêt FTE:	25 % de l'investissement total Taux d'intérêt: 2 % / an Période de grâce : 5 ans Durée de maturité: 15 ans
Prêt bonifié	245 % de l'investissement total Taux d'intérêt: 5 % / an au lieu de 7% Période de grâce : 0 ans Durée de maturité: 10 ans
Revenus additionnels	25% de remboursement des subventions de carburant économisées par l'ANME

CAS IS2- Préchauffage de l'eau, avec mécanisme FTE – Résultats financiers

79

Paramètre	Valeur	Unité
Prix du combustible avant subvention – FL	85	TD/MWh
Prix du combustible subventionné- FL	45	TD/MWh
Facteur d'augmentation des prix de l'énergie Année 1 à 6	110,0%	
Facteur d'augmentation des prix de l'énergie Année 7 à 20	105,0%	
Facteur d'augmentation du prix du combustible avant subvention	100,0%	
Facteur de dégradation	99,5%	
Rendement solaire (TS 1,1-1,4 IS 0,8-1)	1	MWh/m ² coll.area
Rendement de la chaudière	85%	

CAS IS2- Préchauffage de l'eau, avec mécanisme FTE – Résultats financiers

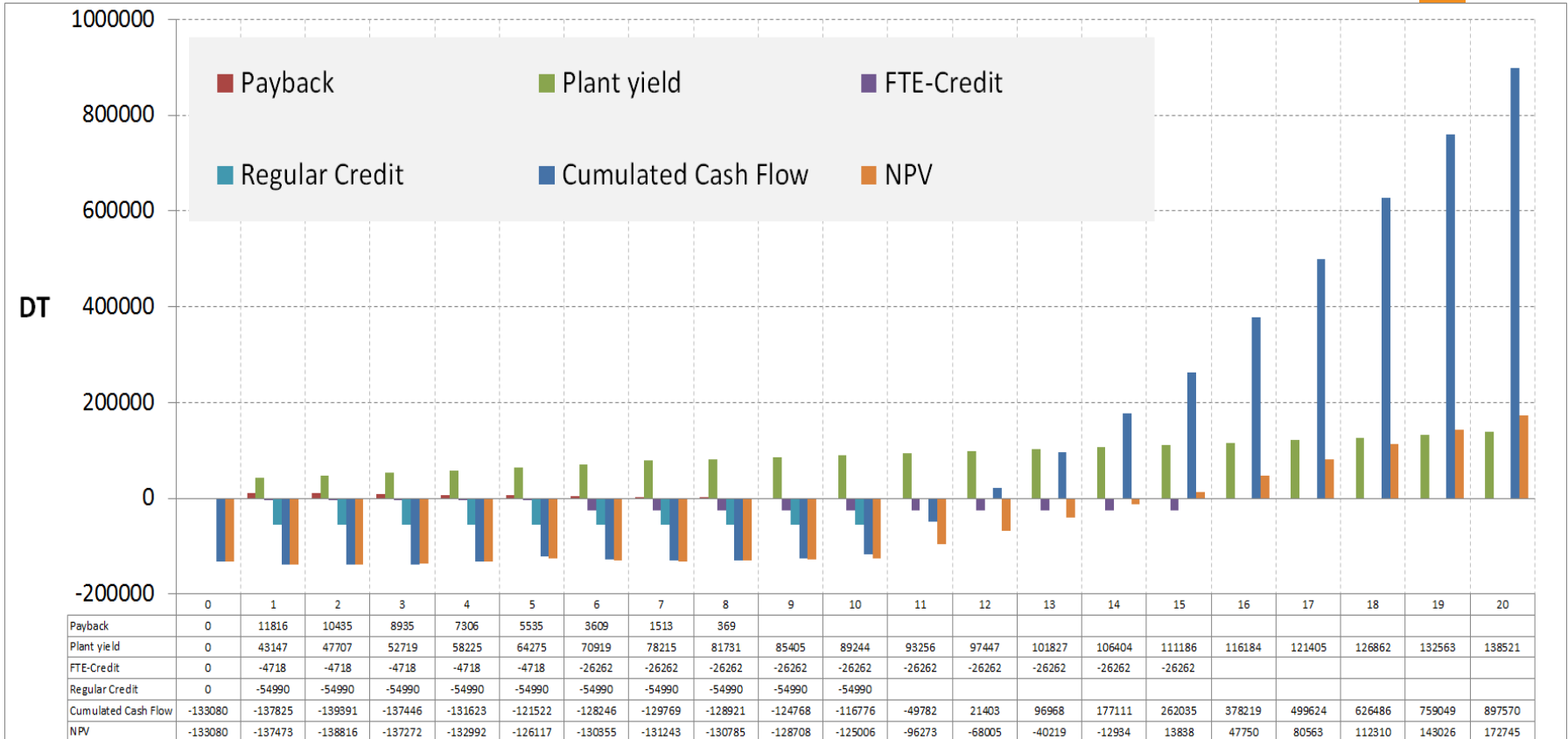
80



Collector Area [m ²]	Extra Volume [m ³]	Spec. Solar Yield [kWh/m ²]	LHC [TD /MWh]	NPV [TD]	IRR [%]	DPP [y]
500	10	1029	77,3	92.149	11,1	14,4
1000	70	1004	77,7	175.687	11,0	14,5
1500	90	926	80,1	211.168	10,5	15,2
2000	110	848	83,7	199.914	9,9	16,2
2500	130	795	85,7	197.816	9,6	16,7
3000	130	733	87,8	174.127	9,3	17,3
3500	130	672	90,6	123.248	8,8	18,2
4000	130	619	93,4	64.560	8,4	19,1
4500	150	578	95,7	10.260	8,1	19,9
5000	150	537	97,5	-34.421	7,8	20,5

Simulation Cash flow for 2ème meilleur scénario pour le cas IS2 avec mécanisme FTE

81



IS2- Résultats

82

Item	DT	Planifié	Réel contribution en tant que subvention dans l'investissement global
Cout total	943600	100 %	
Subvention (150 DT/ m²):	150000		15,9 %
Fonds propres	133080	30 %	
Crédit bonifié FTE	235900	25 %	10,3%
Crédit bonifié	424620	45 %	5,9%
Revenu additionnel (140 TD / m²) * 0,25	40250		4,3%
Subvention totale			36,4 %
Temps de retour SPP changé		12,6 ans vs. 11,2 ans (sans FTE)	
Temps de retour DPP amélioré		14,5 ans vs. 20,4 ans (sans FTE)	

Conclusions – Mécanisme incitatif FTE

83



Le mécanisme incitatif FTE contribue à l'amélioration des conditions de financement d'un projet donné à travers la mise à disposition de fonds comptabilisés en tant que fonds propres mais qui échappe à la condition imposée pour la rentabilité des capitaux propres (ROE) 8% dans le secteur industriel.

Toutefois, et sous les hypothèses considérées dans la présente Etude, le mécanisme ne permet pas de s'approcher davantage aux attentes des investisseurs (IPP, SPP) y compris pour les cas les plus optimistes.

Matrice de rentabilité pour les cas du secteur industriel (IS)

84

ID	Case	Demand	Temp. Level	Location	Type	Fuel	Area [m ²]	LHC [TD/ MWh]	NPV [TD]	IRR [%]	DPP [y]	SPP [y]
IS2	Food	Hot water for CIP-process	25°C -85°C	Sfax	FPC	HF	500	97,3	-5.677	7,9	20,4	11,2
IS2	Food	Hot water for CIP-process	25°C -85°C	Tunis	FPC	HF	1000	114,6	-149.904	5,8	26,9	12,9
IS2	Food	Hot water for CIP-process	25°C -85°C	Tunis	CPC	HF	1000	115,2	-182.553	5,8	27,1	13,0
IS1	Food	Feed water preheating	45°C-105°C	Sfax	CPC	NG	1050	115,7	-297.500	4,4	33,8	14,3
IS1	Food	Feed water preheating	45°C-105°C	Tunis	CPC	NG	1050	133,2	-411.941	2,8	47,9	16,1
IS4	Bricks	Air heating	60°C-120°C	Tunis	CPC	NG	4800	111,9	-1.493.388	2,2	57,4	16,9
IS4	Bricks	Air heating	60°C-160°C	Sfax	LFC	NG	11000	109,6	-4.420.916	1,6	69,8	17,8
IS4	Bricks	Air heating	60°C-160°C	Tunis	LFC	NG	9900	128,1	-4.872.150	< 0	> 100	21,0
IS3	Textile	Steam generation	90°C-165°C	Sfax	LFC	NG	4400	174,4	-2.562.554	< 0	> 100	21,4
IS1	Food	Feed water preheating	45°C-105°C	Tunis	LFC	NG	1980	181,6	-1.339.295	< 0	> 100	24,1
IS3	Textile	Steam generation	90°C-165°C	Tunis	LFC	NG	4400	208,4	-3.028.975	< 0	> 100	26,3
IS3	Textile	Steam generation	90°C-165°C	Tunis	CPC	NG	10000	326,9	-2.934.541	< 0	> 100	39,0

- Tous les cas ne sont pas économiquement viable.
- Le niveau de température détermine la viabilité.
- Haut niveau de température ($T_{\text{mean}} > 80^{\circ}\text{C}$) implique une importante subvention ($\geq 700 \text{ TD/m}^2$)

Recommendations Politiques

Abdelhak Khémiri
CAMI



Effets des hypothèses techniques sur les performances économiques des systèmes ST

86



La taille d'un système solaire thermique

Plus la taille de l'installation solaire thermique est importante, plus la perte en rendement par m^2 augmente - La plupart du temps, les petits systèmes sont les plus économiques grâce à l'importance du taux d'utilisation / pertes minimales (à partir d'une certaine taille minimum incluant les coûts fixes)

Le stockage

La capacité du stockage présente un impact économique puisque les systèmes existants offrent un stockage gratuit

L'irradiation:

Le choix du site pour l'implantation d'un système solaire thermique (Tunis, Sfax, Djerba) n'a pas d'influence significative sur l'aspect économique de l'installation.

Constat 2:

Effets des conditions économiques sur l'aspect économique des systèmes ST

87



Aussi bien pour le tertiaire que l'industriel, les objectifs sont économiques (critères élevés pour le toC et la durée et la durée de vie du système)

- Les taux d'opportunité de capital est de 6% et 8% appliques pour Tunisie avec 100 % de capitaux propres
- Quand le prix du carburant baisse, le solaire est moins rentable. L'hypothèse d'augmentation du prix du carburant est proche du taux d'inflation (5%) n'augmente pas la rentabilité? Les systèmes solaire thermique doivent devenir rentable au cours des 6 premières années.
- Il est très important de savoir que si un système solaire thermique est compétitif (à gaz naturel, fuel ou GPL) - le prix du kWh de chaleur produit à partir de combustible traditionnel est décisif !

Effets des hypothèses économiques sur l'aspect économique des systèmes solaires thermiques

88



- Le montant de la subvention pour les systèmes solaires thermiques (Secteur Tertiaire 300 TD / Secteur Industriel 150 DT) a une influence importante sur l'économie.
- L'économie d'échelle sur les coûts des systèmes est réalisable avec des systèmes plus grands jusqu'à un certain seuil, malheureusement, la probabilité d'un faible taux d'utilisation devient importante

Constat 4:

Même si un système solaire thermique est économique en 20 ans,...

89



- ...un système solaire thermique est en compétition avec d'autre, plus rentable pour une décision d'investissement - ainsi il est éventuellement nécessaire de passer a une "Obligations Solaire"
- ...la situation économique actuelle en Tunisie et dans la région entière représentent des obstacles pour le climat d'investissement - les sociétés désirants d'investir ont besoin peut être du support du gouvernement pour le financement à cause du manque des fonds après des années de crises
- ...les technologies du solaire thermique ne sont pas assez connues pour les grands systèmes - les investisseurs doivent faire confiance et profiter de ces opportunités économiques

Facteurs importants qui influent la rentabilité des systèmes solaires thermiques(en Tunisie)

90



Important du point de vue de l'investisseur moyenne terme

Les facteurs subjectifs pour la prise de décision d'investissement

- Temps de retour TR statique (SPP)
5 ans SPP
- Taux d'intérêt interne TRI
↕ 8 % (IS) ou 6 % (TS)

Les facteurs décisifs

- Prix du carburant conventionnel
- Augmentation du prix du carburant dans les cinq (5) premières années
- Montant de la subvention
- Prix de la technologie employée
- La demande quotidienne / mensuelle
- Niveau de température nécessaire (en général plus le mieux)

Nécessité de base pour tout investissement

- Taux d'intérêt interne
↕ Taux d'inflation

Facteurs intéressants pour les investissements à long terme

- Crédits bonifiés
- Augmentation des prix de l'énergie à long terme
- Irradiation (site) et la température extérieure à l'emplacement
- Taille de la capacité de installation et du stockage système solaire

Important pour l'investisseur longue terme (20 ans)

Appuyer les technologies de chauffage & refroidissement– Instruments politiques



Les instruments de la politique : Ensemble des régimes de soutien éprouvés applicables aux technologies de chauffage

92

Les Instruments politiques pour la promotion du chauffage par les énergies renouvelables

Les incitations financières

(Subvention à
l'investissement,
Avantages fiscaux,
Crédits bonifiés,
etc.)

Les instruments réglementaires

(Réglementation des
bâtiments,
Normalisation, Guides
pratiques, etc.)

Les instruments de vulgarisation

(Formation,
Sensibilisation,
Dissémination,
Information, etc.)

Source: IEA

Cas du secteur tertiaire - Recommandations politiques



PROSOL Tertiaire

Régime de soutien 2014

96



Sujet	Type d'incitation	Montant	Plafond DT
Cout d'investissement	Subvention	Une prime de 30% de l'investissement matériel avec un plafond de 150 DT /m ² , octroyée par le FTE	<div>300 DT / m²</div>
Cout d'investissement	Subvention	Une prime supplémentaire (surprime) de 25% avec un plafond 150 DT/m ² , octroyée par MIET/UNDP	
Projets de démonstration	Subvention	Une prime de 70% pour l'investissement immatériel avec un plafond de	<div>Le plus important</div> <div>70 000 DT</div>
O&M	Subvention	Une prime de 6 DT/m ² pour les actions O&M par an durant quatre ans après expiration de la période de garantie, octroyée par MIET/UNDP	
Taux d'intérêt	Réduction du taux d'intérêt	Réduction de 2 % du taux d'intérêt par rapport au taux offert sur le marché	
Qualité		Solar key mark, approuvé uniquement pour les capteurs	

Classement selon la rentabilité des cas pour le secteur tertiaire

97



ID	Case	Demand	Location	Type	Fuel	Area [m ²]	LHC [TD/MWh]	NPV [TD]	IRR [%]	DPP [y]	SPP [y]
TS 1	Hotel	DHW + Circulation	Jerba	FPC	LPG	100	54,2	209.973	26,3	5,2	4,5
TS 4	Residence	DHW	Jerba	FPC	LPG	10	60,1	18.256	24,2	5,7	4,9
TS 3	Pool	Indoor Pool	Jerba	FPC	LPG	200	61,9	337.285	23,4	5,9	5,0
TS 2	Hospital	DHW + Circ + Space Heating	Jerba	FPC	LPG	100	63,2	179.565	22,8	6,1	5,1
TS 1	Hotel	DHW + Circulation	Jerba	CPC	LPG	400	80,1	611.876	18,1	7,7	6,3
TS 1	Hotel	DHW + Circulation	Tunis	FPC	NG	100	61,4	28.409	9,7	14,0	9,9
TS 4	Residence	DHW	Tunis	FPC	NG	10	67,4	1.822	8,5	15,6	10,8
TS 2	Hospital	DHW + Circulation	Tunis	FPC	NG	100	70,0	14.102	7,9	16,4	11,2
TS 3	Pool	Indoor Pool	Tunis	FPC	NG	150	71,1	18.660	7,7	16,8	11,3
TS 2	Hospital	DHW + Circ + Space Heating	Tunis	FPC	NG	100	72,4	11.603	7,5	17,2	11,5

- Tous les cas sont économiquement viables : NPV/ IRR positives
- Combustible= GN \Rightarrow SPP > 9,9 ans / DPP > 14 ans (TRB;TRD)
- Combustible= GPL \Rightarrow SPP > 4,5 ans / DPP: 5 - 8 ans (TRB;TRD)
- En terme de localisation : Djerba meilleure que Tunis, mais sans impact essentiel.

99



Identification des groupes cibles intéressés par des investissements rentables à moyen / long-terme

Objectif	Informer sur la rentabilité des systèmes solaires thermiques dans le secteur tertiaire
Prérequis	<ul style="list-style-type: none">•Le régime actuel de soutien pour le système solaire thermique actuel subventions de 55% : Subvention à l'investissement (150 DT / m² ANME/FTE; 150 DT / m² PNUE) va persister à l'avenir•Prix de l'énergie ne cessent d'augmenter (augmenter le taux de 10% / an (5) premières années, puis de 5% / an (pour les 15 années suivantes))•Les investisseurs moins exigeants qui acceptent de plus longues durées de remboursement
Cible	Les institutions du secteur tertiaire (public, tourisme, secteur de la santé, secteur éducatif, militaires), Associations, Installateurs, Bureaux d'Ingénierie,...
Contenu	<ul style="list-style-type: none">•Informations, organisation d'événements et de visites aux projets de démonstration•informations sur les besoins de planification et d'autres exigences
Première étape	Dissémination des résultats de l'études auprès des différents acteurs et parties prenantes (publication, organisation d'ateliers...)
Acteurs	ANME, Associations, Instituts de planification, et Bureaux d'Ingénierie

Recommandation 3 :

Fonds d'assurance pour la compensation des pertes de bénéfices

Objectif	Assurer l'investisseur par un schéma crédible de compensation des pertes économiques dues aux défaillances techniques du système
Cible	Assureurs - Installateurs - Décideurs et Intervenants des secteurs cibles
Contenu	<ul style="list-style-type: none"> •Création d'un régime d'assurance avec une entité technique (université / institut de recherche) ayant une connaissance approfondie de la technologie •Ouvrir de l'assurance pour les installateurs certifiés / qualifiés à des taux faibles ou exclusivement •Couverture crédible des pertes « garantie/ responsabilité de l'état »
Consistance	<ul style="list-style-type: none"> •Analyse des défauts communs aux grands systèmes (ST) •Identification des meilleures pratiques (internationales) dans l'installation des grands systèmes •Analyse des assurances existantes pour les défauts techniques afin d'identifier les régimes pertinents •Se concerter avec les parties prenantes et les clients potentiels afin d'identifier les besoins des clients •Mise en place d'un régime d'assurance pour les produits techniques / sites industriels à grande échelle et les faire évaluer par des installateurs / clients potentiels •Mettre en place des systèmes de surveillance pour les grands systèmes solaires thermiques avec un organisme accrédité (institut de recherche national accrédité)
Acteurs	ANME, Associations, Installateurs, Assureurs, Entités techniques
Exemple	Régime d'assurance pour le manque à gagner due aux pertes PV dans les marchés électriques basés sur le FIT

Recommandation 4 :

Faciliter l'évaluation des bénéfices pour les parties prenantes

Objectif	<ul style="list-style-type: none">- Améliorer l'efficacité énergétique moyennant les audits énergétiques- Afficher les avantages de l'utilisation des énergies renouvelables
Cible	Les représentants des groupes cibles, des experts en énergie et des consultants
Contenu	<ul style="list-style-type: none">• Programmation / adaptation d'un outil de simulation simple pour calculer le rendement énergétique et les avantages économiques des systèmes solaires à différents sites géographiques• Formation à l'utilisation de l'outil des consultants en énergie / ingénieurs• Information du grand public sur ce service en mettant l'accent sur des groupes cibles spéciaux• Élaborer un manuel d'utilisation pour l'outil
Consistance	<ul style="list-style-type: none">- Définition des critères d'entrée pour de tels outils et des informations normalisées prévues aux consultants en énergie et aux clients- Développement d'outil basé sur l'étude de l'énergie solaire thermique- les essais de fonctionnement de l'outil avec des experts de l'énergie et des clients potentiels
Acteurs	ANME, Développeurs de logiciel, Représentants de l'industrie solaire / l'industries des renouvelables, Acteurs dans l'efficacité énergétique
Exemple	Atelier GIZ, Mai / Juin 2015

Recommandation 5 : Instauration d'un "Label Tourisme Ecologique" (Vert)



Objectif	Valeur supplémentaire de marketing pour les hôtels "Label Tourisme Ecologique"
Cible	Association Hôtel, Ministère du Tourisme, les agences compétentes, les chaînes hôtelières, les propriétaires d'hôtels, les organismes de certification
Description	Revoir le label environnemental pour les hôtels distinctifs hôtels en raison de : <ul style="list-style-type: none"> • Les critères de l'énergie: efficacité énergétique, utilisation des énergies renouvelables, etc. • Les critères environnementaux : l'élimination des déchets, utilisation de l'eau, etc .
Mesures	<p>Promotion nationale ::Créer la concurrence entre les hôtels</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faciliter l'audit énergétique et l'évaluation de l'efficacité dans les hôtels • Octroyer un prix pour les meilleurs dans les campagnes officielles (inter) nationales de marketing. <p>Promotion Internationale : Positionner la Tunisie comme destination respectueuse de l'environnement en Méditerranée (gazettes, foires commerciales et des sites Web) avec ces exemples</p>
Première étape	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier les "label vert" et leur approche • Énumérer les hôtels "thermique / systèmes PV solaires» et mettre en valeur sur les publications / informations officielles du pays, y compris des images, etc. • Envisager un mécanisme de concertation entre les parties prenantes permettant d'avoir un accord parmi le groupe de discussion • Informer sur les critères internationaux disponibles pour "éco-audits"
Entité d'exécution	ANME, Agence de marketing, Représentants de l'industrie solaire, Acteurs en efficacité énergétique
Exemple	„Green Star Hotel Label“, Egypte, clef verte Tunisie, etc

Recommandation 6:

Obligation solaire pour les bâtiments (publics et privés)

Objectif	Obliger les (nouveaux) bâtiments à utiliser les énergies renouvelables
Description	Modifier efficacement la demande énergétique des nouveaux bâtiments en créant des obligations pour la consommation du primaire et du renouvelable
Mesures	<ul style="list-style-type: none">• Revoir la réglementation thermique actuelle• Obligation du solaire pour les bâtiments neufs• Commencez avec des bâtiments publics pour tester la nouvelle réglementation
Premières étapes	<ul style="list-style-type: none">• Évaluer la conformité de ces mesures d'obligatoires à la réglementation actuelle des bâtiments• Définir les cas d'application de la loi ainsi que les exceptions• Utilisez des exemples internationaux <p>Les mesures d'accompagnement peuvent inclure:</p> <ul style="list-style-type: none">• Système de révision de la législation
Groupe cible	Les bâtiments industriels, les ministères concernés, les collectivités locales, les municipalités

Mesures d'accompagnement : Formation, Certification des planificateurs et des installateurs

105



Mesure	Education, Formation, Certification
Objectif	Réduire la défaillance de systèmes et accroître la fiabilité / réputation du solaire thermique
Groupe cible	Planificateurs, Installateurs, Formateurs
Contenu	<p>Travailler sur les programmes pour les installateurs, les formateurs des institutions nationales / internationales</p> <ul style="list-style-type: none">• Formation des formateurs et offrir des stages pratiques• Développer des supports de formation• Utiliser les projets existants comme exemples/ démonstrateurs
Premières étapes	Évaluer les programmes actuels pour les professionnels du solaire thermique
Acteurs	Les établissements d'enseignement, les associations professionnelles, les entreprises avec les systèmes existants, les instituts de formation (locaux et internationaux)

Cas du secteur industriel - Recommandations politiques



Secteur industriel:

Aperçu sur le régime de soutien pour le PROSOL industriel

109



Art.	Action	Subvention	Plafond (DT)
1	Audit énergétique	70% du coût de l'audit énergétique	30 000
2	Projet de Démonstration	50% du coût du projet	100 000
3a	Action de ME : Investissement immatériel	70 % de l'investissement immatériel (Conception, Etude, Monitoring, etc.)	70 000
6a	Substitution énergétique	20% de l'investissement	400 000
7a	Solaire thermique dans le Secteur industriel	30 % de l'investissement	La plus importante 150 DT/m ²

Non cumulative

Secteur industriel

Hypothèses pour les études de cas

110



1. Taux d'opportunité demandé élevé 8%? (Ou 10%)
2. Un montant maximum de 150 DT/m² pour la subvention, le cumul de subvention étant impossible (soit une subvention de l'ordre de 15% - 20% de l'investissement)
3. Absence de crédit bonifiés
4. La compétitivité avec le gaz naturel et le fuel (qui est subventionné à environ 46% - 47% des coûts réels)
5. Les prix de gaz naturel (DT 38 / MWh), fuel (DT 45 / MWh)

Classement selon la rentabilité des cas du secteur industriel

111

ID	Case	Demand	Temp. Level	Location	Type	Fuel	Area [m ²]	LHC [TD/ MWh]	NPV [TD]	IRR [%]	DPP [y]	SPP [y]
IS2	Food	Hot water for CIP-process	25°C -85°C	Sfax	FPC	HF	500	97,3	-5.677	7,9	20,4	11,2
IS2	Food	Hot water for CIP-process	25°C -85°C	Tunis	FPC	HF	1000	114,6	-149.904	5,8	26,9	12,9
IS2	Food	Hot water for CIP-process	25°C -85°C	Tunis	CPC	HF	1000	115,2	-182.553	5,8	27,1	13,0
IS1	Food	Feed water preheating	45°C-105°C	Sfax	CPC	NG	1050	115,7	-297.500	4,4	33,8	14,3
IS1	Food	Feed water preheating	45°C-105°C	Tunis	CPC	NG	1050	133,2	-411.941	2,8	47,9	16,1
IS4	Bricks	Air heating	60°C-120°C	Tunis	CPC	NG	4800	111,9	-1.493.388	2,2	57,4	16,9
IS4	Bricks	Air heating	60°C-160°C	Sfax	LFC	NG	11000	109,6	-4.420.916	1,6	69,8	17,8
IS4	Bricks	Air heating	60°C-160°C	Tunis	LFC	NG	9900	128,1	-4.872.150	< 0	> 100	21,0
IS3	Textile	Steam generation	90°C-165°C	Sfax	LFC	NG	4400	174,4	-2.562.554	< 0	> 100	21,4
IS1	Food	Feed water preheating	45°C-105°C	Tunis	LFC	NG	1980	181,6	-1.339.295	< 0	> 100	24,1
IS3	Textile	Steam generation	90°C-165°C	Tunis	LFC	NG	4400	208,4	-3.028.975	< 0	> 100	26,3
IS3	Textile	Steam generation	90°C-165°C	Tunis	CPC	NG	10000	326,9	-2.934.541	< 0	> 100	39,0

- Tous les cas ne sont pas économiquement viables.
- Le niveau de température est déterminant pour la viabilité.
- Les niveaux de températures élevés ($T_{\text{mean}} > 80^{\circ}\text{C}$) impose des subventions élevées

Secteur industriel:

Identification des barrières à l'investissement générales

112



Barrieres	Niveau actuel	Niveau nécessaire pour les mieux cas	Comp. En Allemagne
Le niveau de prix d'énergie	GN: 38 TD / MWh FL: 45 TD / MWh	> 130 TD / MWh	GN: 73 TD / MWh FL: 104 TD / MWh
Attentes hautes des investisseurs vers la rentabilité	Max. 5 ans SPP	11.2 ans SPP	4 – 8 ans DPP
Possibilités d'ailleurs d'investissements	Efficienne énergétique, extension de production,		Mêmes problèmes

Recommandation 1:

Réduire / éliminer les subventions de fuel pour secteur industriel

113



Mesure	Reduire les subventions de fuel
Objectif	Réduire les subventions a 0 TD
Groupe cible	Tout les industriels concernés
Contenu	<ul style="list-style-type: none">• Une fois réalisé, les prix seront presque 50 % plus élevés que aujourd`hui (2014) a 70 TD / MWh NG ou 85 TD / MWh Fuel.• Le SPP voudrais diminuer aux niveaux plus acceptables et on pourrait appuyer ces niveau avec crédits subventionnés et aux conditions très favorables, primes plus élevés pour les premiers projets de démonstration.• Offrir des incitatifs financiers pour les investissements dans les énergies renouvelables pour atténuer les effets sur le niveau général des prix pour les industries concernées
Premières étapes	<ul style="list-style-type: none">• Constituer de groupe de travaille et de consultations pour évaluer mesures a prendre par les entreprise pour faire face a l`augmentation des prix.
Acteurs	AMNE, Auditeurs énergétiques, Industriels

Recommandation 2:

Appuyer les projets de démonstration

Objectif	Créer des „show cases“ (Projets de démonstration)
Groupe cible	Entreprises industrielle, Associations industrielle
Description	<p>Développer et financer les projets de référence qui peuvent faciliter le développement du marché dès que les conditions plus favorables sont atteints (par exemple, les prix de l'énergie beaucoup plus élevés) avec l'appui financier d'au moins 75%</p> <ul style="list-style-type: none"> -Explorer différentes technologies (par exemple les niveaux de température) -Impliquer dans ces projets des BE, des installateurs, des ingénieurs, des investisseurs potentiels -Faire des projets de démonstration rentable pour les investisseurs pour créer des incitation et les maintenir dans le long terme (par exemple, par une part des subventions de carburant économisés) -Promouvoir les valeurs de marketing (par exemple en matière de RSE) et organiser des visites de sites -Fournir des prêts bonifiés
Premières étapes	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les branches et les entreprises stratégiques, prêts à travailler sur de tels projets - Discuter des projets avec des banques internationales de donateurs / institutions, désireux de soutenir des subventions appropriées <p>Des mesures d'accompagnement: crédits bonifiés aux alentours de taux d'inflation pourrait soutenir la volonté d'investissement /Visites de projets pilotes avec les décideurs industriels pertinentes</p>
Exécution	ANME, Entreprises Solaire, Associations de certaines industries

Mesure	Évaluer les mesures d'efficacité énergétique pour l'économie de l'énergie / autres technologies
Objectif	Utilisez la technologie la moins cher visant à satisfaire les objectifs d'économie d'énergie
Groupe cible	Tout les industriels concernés
Contenu	<ul style="list-style-type: none">• Soutenir les Audits énergétiques dans le secteur tertiaire• Chercher des alternatives pour vitrage, l'efficacité énergétique solaire thermique, PV pour les gros consommateurs d'électricité
Premières étapes	<ul style="list-style-type: none">• Analyser les rapports d'audits énergétiques existantes pour trouver le potentiel d'économie pour l'utilisation de l'énergie• Identifier les cas les plus intéressants
Acteurs	AMNE, Auditeurs énergétiques, Industriels

Secteur industriel (IS): Autres recommandations

Toutes les mesures annoncées pour le secteur privé sont applicables.

Recommandations:

- Toutes les recommandations pour les cas du secteur tertiaire

Il faut considérer aussi (ceci n'a pas été considéré par l'étude)

- Déduction ou suspension d'impôt / amortissement accéléré
- Sociétés de services énergétiques ESCO pour la construction et les tâches O&M
- Modèles de leasing

Ou

Chercher d'autres solutions moins coûteuses pour les mesures
d'économie d'énergie

Merci Pour Votre Attention